



Red Velvet:

Origem da Cor Vermelha do Bolo

Catarina Rego Mariano Correia

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em
Ciências Gastronómicas

Orientador: Doutora Isabel Maria Nunes de Sousa (ISA/ULisboa)

Júri:

Presidente: Doutora Catarina Paula Guerra Geoffroy Prista, Professora Auxiliar do(a) ISA

Vogais: Doutor Jorge Manuel Rodrigues Ricardo da Silva, Professor Catedrático do(a) ISA
Doutora Isabel Maria Nunes de Sousa, Professora Associada com Agregação do(a)
ISA

Somos capazes de medir a temperatura na atmosfera do planeta Vénus, mas não sabemos o que se passa com os nossos soufflés...

Nicholas Kurti (1969)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas, que directa ou indirectamente puderam contribuir para a realização desta tese.

Em primeiro lugar, os agradecimentos vão para a minha orientadora, a professora Isabel Sousa, que me deu o suporte científico e físico para realizar as experiências necessárias para concretizar esta tese. Quero agradecer o seu apoio e entusiasmo, e todas as recomendações, conhecimentos e ideias que permitiram o desenvolvimento do trabalho.

Às professoras Catarina Prista e Paulina Mata, coordenadoras do mestrado de Ciências Gastronómicas, que me acompanharam ao longo deste percurso e cujo apoio e incentivo foram fundamentais para realizar e prosseguir este estudo. Quero agradecer a transmissão de todos os seus conhecimentos ao longo destes anos de mestrado.

À professora Anabela Raymundo, que mesmo dentro do seu tempo limitado, sempre mostrou disponibilidade para me apoiar cientificamente.

À professora a Patrícia Fradinho e à minha colega de mestrado Sónia Oliveira, que com a sua paciência e apoio me facilitaram e ajudaram na adaptação ao local de trabalho e no início da experiência prática. O vosso apoio foi fundamental na realização deste trabalho.

Um agradecimento especial aos meus pais por sempre me terem apoiado nos meus estudos e interesses e terem proporcionado as condições de continuar a estudar.

Aos meus amigos, obrigada pela força e carinho, por estarem presentes nos bons e maus momentos, por acreditarem na minha evolução e nos meus projectos de vida. Em especial, ao Manel, que tendo passado pelo mesmo, me incentivou quando eu estava mais em baixo. Obrigada por todos os momentos ao longo destes anos. À Catarina, cuja presença na minha vida ao longo de sete anos é uma parte fundamental de quem sou. E um agradecimento muito especial a vocês, *Pati* e *Orci*, que têm estado sempre lá, desde do início. Sem vocês não teria o suporte emocional e a força para seguir em frente com os meus sonhos e ser feliz. Vocês fazem parte de quem sou, obrigada por tudo.

Aos meus colegas do mestrado em Ciências Gastronómicas e do mestrado de Engenharia Alimentar, com quem partilhei inúmeros momentos de animo e de frustração, ao longo do mestrado e especialmente ao longo da realização da parte prática desta tese.

A todos, muito obrigada.

RESUMO

Na confecção do bolo *Red Velvet* usa-se um corante vermelho. O resultado é um bolo macio e aveludado com uma cor vermelha intensa. A receita original não incluía corantes, então porque se recorreu ao uso do corante? Seria para exacerbar uma cor naturalmente avermelhada do bolo? Daí resultou a hipótese de estudo desta tese: se a receita original, sem recurso a corante, resulta num bolo avermelhado, existirá alguma reacção que ocorra entre os ingredientes e que seja responsável pela cor do bolo? Assim foi feita uma pesquisa de modo a estudar a composição química, a física, a estrutura dos bolos, as funções e interações dos ingredientes e os pigmentos do cacau. Na parte prática procurou-se compreender os factores que podem influenciar a cor do bolo.

Na parte experimental avaliou-se o modo como o pH do cacau e o tipo de levedante químico influenciam a aparência e estrutura final do bolo, através de vários de testes. São estes: determinação da cor com o colorímetro, determinação do pH com o potenciómetro, determinação da humidade por gravimetria, determinação do a_w pelo Rotronic e avaliar a textura com o texturómetro. Em primeiro lugar estabilizou-se a fórmula a utilizar e de seguida escolheu-se o método mais apropriado de incorporação dos ingredientes. De seguida, variou-se o pH do cacau utilizado na receita (entre 5,25 e 6,8) e o tipo de levedante químico (bicarbonato de sódio e fermento com ácido tartárico).

Os bolos feitos com ácido tartárico ficaram com uma cor castanho amarelada. Os bolos feitos com bicarbonato de sódio ficaram com uma cor castanho avermelhada. Os resultados levam à conclusão que de facto existirá uma reacção química que ocorre no bolo e que é responsável pela cor avermelhada do bolo *Red Velvet*. Esta reacção ocorre provavelmente entre os pigmentos do cacau e o bicarbonato de sódio.

Palavras-chave: *Red Velvet*, bolos, pigmentos do cacau, bicarbonato de sódio, cor vermelha.

ABSTRACT

Red Velvet cake is made with red color dye. The result is a soft, velvety cake with an intense red color. The original recipe didn't include dyes, so why use red dye in this recipe? Was it to enhance the naturally pre-existing reddish color in the cake? From there came this thesis hypostasis: if the original recipe, without the use of red color dye, results in a reddish cake, is there some reaction, that occurs between the ingredients, that's responsible for the reddish color of the cake? Therefore, was done a research to study the chemical composition, the physics and the structure of cakes, the functions and interactions of the ingredients and the cocoa pigments. The experimental part focused on comprehending the factors that can influence the color of the cake.

The experimental part focused on evaluating the way the cocoa pH and the type of chemical leavener will influence the final look and structure of the cake, through several tests. The tests were: determine the color with the colormeter, determine the pH with the potentiometer, determine the humidity by gravimetric, determine the a_w by the Rotronic and evaluate the texture with the textumeter. First of, the cake formula was stabilized and the best ingredient incorporation method was picked. And then, we vary the cocoa pH in the recipe (between 5,25 and 6,8) e and the type of chemical leavener (baking soda and tartaric acid baking powder).

The cakes made with tartaric acid turned out yellowish brown. The cakes made with baking soda turned out reddish brown. The results led to the conclusion that indeed there is a chemical reaction that occurs in the cake and that is responsible for the reddish color of the *Red Velvet* cake. This reaction probably occurs between the cocoa pigments and the baking soda.

Keywords: *Red Velvet*, cakes, cocoa pigments, baking soda, red color.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XI
LISTA DE ABREVIATURAS.....	XII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Contextualização Histórica.....	3
2.1.1 <i>Desenvolvimento do Cacau em Pó</i>	3
2.1.2 <i>Desenvolvimento de Levedantes Químicos</i>	4
2.1.3 <i>Mito do Red Velvet</i>	5
2.2 Bolos, O Processo Geral	6
2.2.1 <i>A Estrutura</i>	6
2.2.1.1 Proteínas	6
2.2.1.2 Espumas	8
2.2.1.3 Géis	9
2.2.1.4 Emulsões	10
2.2.2 <i>Métodos de Confeção</i>	11
2.2.2.1 A Incorporação dos Ingredientes	11
2.2.2.2 O Que Ocorre Dentro do Forno	12
2.2.2.3 Métodos de Mistura.....	13
2.2.2.3.1 Método <i>Creaming</i>	14
2.2.2.3.2 Método <i>Foaming</i>	14
2.2.2.4 Fórmulas e Receitas	15
2.2.2.4.1 Percentagens de Padeiro	16
2.2.3 <i>Composição Química</i>	16

2.2.3.1	Reacções Ácido/Base e pH	16
2.2.3.2	Reacções de Maillard.....	17
2.2.3.3	Ingredientes: Funções e Interações.....	18
2.2.3.3.1	Ovo	18
2.2.3.3.2	Manteiga.....	20
2.2.3.3.3	Açúcar	20
2.2.3.3.4	Iogurte	21
2.2.3.3.5	Vinagre	21
2.2.3.3.6	Extracto Baunilha	21
2.2.3.3.7	Farinha	22
2.2.3.3.7.1	Glúten	22
2.2.3.3.7.2	Amido.....	23
2.2.3.3.7.2.1	Gelatinização	23
2.2.3.3.8	Sal.....	24
2.2.3.3.9	Levedantes Químicos.....	25
2.2.3.3.9.1	Bicarbonato de Sódio	25
2.2.3.3.9.2	Fermento Químico	26
2.2.3.3.9.2.1	Ácido Tartárico	26
2.2.3.3.10	Cacau em Pó.....	27
2.2.3.3.10.1	Cacau em Pó Natural	27
2.2.3.3.10.2	Cacau em Pó Alcalinizado.....	28
2.2.3.4	Composição do Cacau.....	28
2.2.3.4.1	Caracterização das Antocianinas.....	29
2.2.3.4.1.1	Estrutura Primária.....	29
2.2.3.4.1.2	Efeitos do pH e Mecanismos de Estabilização da Cor.....	30
2.2.3.4.1.3	Co-pigmentação.....	31
2.2.3.4.1.4	Oxidação Enzimática	32
2.2.3.4.2	Procianidinas	32
2.2.3.4.3	Influência do Processo de Alcalinização	33
2.3	Avaliação da Cor	34
2.4	Humidade e Actividade da Água (a_w)	35
2.5	Análise das Propriedades de Textura	36
2.6	Análise Sensorial.....	39
2.7	Objectivos	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS	41

3.1	 Materiais	41
3.2	 Métodos	41
3.2.1	<i>Planeamento Experimental</i>	42
3.2.1.1	Pré-selecção de Fórmulas do Bolo Red Velvet	42
3.2.1.2	Estabilização da Fórmula Final do Bolo Red Velvet	43
3.2.1.3	Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes	43
3.2.1.4	Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico no Bolo Red Velvet	43
3.2.2	<i>Testes Práticos.....</i>	43
3.2.2.1	Determinação do pH	43
3.2.2.2	Determinação da Cor	44
3.2.2.3	Avaliação das Propriedades de Textura	44
3.2.2.3.1	TPA da Crosta	45
3.2.2.3.2	TPA do Miolo	45
3.2.2.4	Determinação da Actividade da Água (a_w)	45
3.2.2.5	Determinação da Humidade	46
3.2.2.6	Análise Estatística	46
4	 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	 Pré-selecção de Fórmulas do Bolo <i>Red Velvet</i>.....	48
4.2	 Estabilização da Fórmula Final do Bolo <i>Red Velvet</i>.....	50
4.3	 Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes.....	53
4.4	 Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico no Bolo <i>Red Velvet</i>	55
4.4.1	<i>Discussão dos Resultados.....</i>	57
4.4.1.1	Cacau a 5,25 e Bicarbonato de Sódio vs Cacau a 5,25 e Fermento com Ácido Tartárico 57	
4.4.1.2	Cacau a 6,8 e Bicarbonato de Sódio vs Cacau a 6,8 e Fermento com Ácido Tartárico 58	
4.4.1.3	Cacau a 5,25 e Bicarbonato de Sódio vs Cacau a 6,8 e Bicarbonato de Sódio 58	
4.4.1.4	Cacau a 5,25 e Fermento com Ácido Tartárico vs Cacau a 6,8 e Fermento com Ácido Tartárico	59
4.4.1.5	Cacau a 5,25 e Bicarbonato de Sódio (5g) vs Cacau a 5,25 e Bicarbonato de Sódio (7g) 60	
5	 CONCLUSÕES	61
5.1	 Pré-selecção de Fórmulas do Bolo <i>Red Velvet</i>.....	61

5.2	Estabilização da Fórmula Final do Bolo <i>Red Velvet</i>.....	61
5.3	Escolha do Método de Incorporação dos Ingredientes	61
5.4	Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico no Bolo <i>Red Velvet</i>	62
5.5	Conclusões Finais	62
6	TRABALHO FUTURO	63
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ANEXOS.....	69
	Índice de Anexos	70

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ligação Peptídica. Fonte: Gaman & Sherrington (1977).	7
Figura 2: Desnaturação Proteica. Fonte: Monteiro (2017).	7
Figura 3: Espuma de Claras de Ovo. Proteínas por Desnaturar (esquerda). Ligações das Proteínas Desnaturadas (direita). Fonte: McGee (2004).	8
Figura 4: Início da formação da rede tridimensional de um gel. Fonte: Monteiro (2017).	10
Figura 5: Separação de Fases: Óleo/Água (esquerda). Emulsificantes Impedem Separação de Fases (centro). Proteínas e Amido Agem Como Emulsificantes (direita). Fonte: McGee (2004).	11
Figura 6: O Efeito da Mistura da Massa no Volume Final e no Miolo do Bolo. Fonte: Ficoni (2008).	12
Figura 7: Anéis Centrais de Produtos das Reações de <i>Maillard</i> : (do topo, sentido dos ponteiros do relógio) Pirrol, Piridina, Pirazina, Tiofeno, Tiazol e Oxazol. Fonte: McGee (2004).	17
Figura 8: Proteínas do Ovo na Forma Nativa (esquerda). O Aquecimento Provoca a Desnaturação das Proteínas (centro). As Proteínas Desnaturadas Começam a Ligar-se Formando uma Rede (direita). Fonte: McGee (2004).	19
Figura 9: Estrutura da Sacarose. Fonte: Gaman & Sherrington (1977).	21
Figura 10: Formação do Glúten. Fonte: Botelho (2012).	23
Figura 11: Representação Esquemática de um Grânulo de Amido. Fonte: Botelho (2012).	23
Figura 12: Gelatinização. Fonte: The Culinary Institute of America (2009).	24
Figura 13: Esquema da Reação do Bicarbonato de Sódio. Fonte: Ficoni (2008).	25
Figura 14: Estruturas Moleculares Encontradas em Solução Aquosa com Diferentes Valores de pH. Fonte: Bordignon Jr., C. L., Francescatto, V., Nienow, A. A., Calvete, E., & Reginatto, F. H. (2009).	30
Figura 15: Reação de Bate-Smith. Fonte: Fernandes (2013).	33
Figura 16: Espaço de Cor CIELAB. Fonte: Trindade (2015).	34
Figura 17: Exemplo de um Texturograma obtido na análise de textura do bolo <i>Red Velvet</i> .	38
Figura 18: Eléctrodo de Sólidos: Basic 20 pH-Meter.	44
Figura 19: Colorímetro: <i>Chroma Meter</i> CR-400.	44
Figura 20: Texturómetro: TA.XT. <i>plus Texture Analyser</i> .	45
Figura 21: Equipamento de Medição da Actividade da Água: Hygrolab, Rotronic (esquerda). Sonda, Rotronic (centro). Banho de Regulação de Temperatura, Brabender electronic T150 (direita).	46
Figura 22: Estufa, Binder (esquerda). Exsicador (direita).	46
Figura 23: Gráfico para Comparação dos Resultados da Análise Sensorial.	48
Figura 24: Ficha de Análise Sensorial.	71
Figura 25: Imagem da Fatia do Bolo Feito com Bicarbonato de Sódio e Cacau de pH a 5,25.	79
Figura 26: Imagem da Fatia do Bolo Feito com Bicarbonato de Sódio e Cacau de pH a 6,8.	80

Figura 27: Imagem da Fatia do Bolo Feito com 7g de Bicarbonato de Sódio e Cacau de pH a 5,25.....	81
Figura 28: Imagem da Fatia do Bolo Feito com Fermento com Ácido Tartárico e Cacau de pH a 5,25.....	82
Figura 29: Imagem da Fatia do Bolo Feito com Fermento com Ácido Tartárico e Cacau de pH a 6,8.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tabela de Composição da Farinha T55 Nacional (utilizada neste trabalho).	22
Tabela 2: Parâmetros de Análise de Textura. Fontes: Botelho (2012), Oliveira (2017) e Sousa (2001).	37
Tabela 3: Produtos Utilizados na Experiência Prática.	41
Tabela 4: As Quatro Receitas Submetidas a Análise Sensorial.	42
Tabela 5: Formulações Tipo: XT6 e XM8, Obtidas da Pré-selecção das Fórmulas do Bolo.	50
Tabela 6: Resultados da Estabilização da Fórmula Final para as Determinações de pH, Cor, a_w e Humidade.	50
Tabela 7: Resultados da Avaliação da Textura para a Crosta das Fórmulas XT6 e XM8.	51
Tabela 8: Resultados da Avaliação da Textura para o Miolo das Fórmulas XT6 e XM8.	52
Tabela 9: Resultados da Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes para as Determinações de pH, Cor, a_w e Humidade.	53
Tabela 10: Resultados da Avaliação da Textura para a Crosta dos Métodos <i>Foaming</i> e <i>Creaming</i>	54
Tabela 11: Resultados da Avaliação da Textura para o Miolo dos Métodos <i>Foaming</i> e <i>Creaming</i>	54
Tabela 12: Resultados da Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico para as Determinações de pH, Cor, a_w e Humidade.	55
Tabela 13: Resultados da Avaliação da Textura para a Crosta.	56
Tabela 14: Resultados da Avaliação da Textura para o Miolo.	56
Tabela 15: Análise Estatística dos Diversos Factores para a Estabilização da Fórmula Final do Bolo <i>Red Velvet</i>	72
Tabela 16: Análise Estatística dos Diversos Factores para a Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes.	73
Tabela 17: Análise Estatística dos Diversos Factores para BS 5,25 vs AT 5,25.	74
Tabela 18: Análise Estatística dos Diversos Factores para BS 6,8 e AT 6,8.	75
Tabela 19: Análise Estatística dos Diversos Factores para BS 5,25 e BS 6,8.	76
Tabela 20: Análise Estatística dos Diversos Factores para AT 5,25 e AT 6,8.	77
Tabela 21: Análise Estatística dos Diversos Factores para BS 5g e BS 7g.	78

LISTA DE ABREVIATURAS

A_w – Actividade da água.

BS 5,25 – Fórmula com uso do cacau de pH a 5,25 e do bicarbonato de sódio.

BS 6,8 – Fórmula com uso do cacau de pH a 6,8 e do bicarbonato de sódio.

AT 5,25 – Fórmula com uso do cacau de pH a 5,25 e do fermento com ácido tartárico.

AT 6,8 – Fórmula com uso do cacau de pH a 6,8 e do fermento com ácido tartárico.

BS 5g – Fórmula com uso do cacau de pH a 5,25 e de 5g de bicarbonato de sódio.

BS 7g – Fórmula com uso do cacau de pH a 5,25 e de 7g de bicarbonato de sódio.

1 INTRODUÇÃO

Pastelaria: arte que nasce a partir de ciência.

O desenvolvimento da Pastelaria Portuguesa está directamente ligado ao desenvolvimento do Turismo e da Hotelaria em geral, da interdependência entre eles (Saramago & Cardoso, 2000). A Pastelaria distingue-se da cozinha pela sua precisão e rigor: as receitas são fórmulas baseadas em princípios científicos metódicos (Friberg & Friberg, 2002). Antes da criação de cursos, profissionais ou universitários, a única maneira de alguém se tornar um Padeiro ou um Chefe Pasteleiro era começar como aprendiz. Aprendia-se fazendo e repetindo as técnicas ensinadas pelos mestres, até serem aperfeiçoadas. Se os padeiros ou pasteleiros possuíam algum conhecimento sobre o modo de funcionar dos seus ingredientes, seria adquirido após anos de experiência. Sabiam o que fazer porque lhes foi mostrado que funcionava, as propriedades dos ingredientes acabavam por ser aprendidas, mas não o porquê de se comportarem de determinada maneira. O conhecimento é essencialmente empírico e pouco baseado em conhecimento científico (Offrede, 2015).

A pastelaria não é considerada uma indústria química, mas depende das interações entre as substâncias químicas usadas como ingredientes ou que fazem parte da composição dos ingredientes. Hoje em dia existem mais desafios, é necessário dominar mais técnicas, conhecer uma maior variedade de ingredientes de diferentes culturas e adaptar-se a tendências que estão em constante evolução. É neste sentido que o conhecimento do cientista alimentar tem relevância. Por entender a nível químico e molecular o funcionamento dos produtos alimentares, este conhecimento pode ajudar nos novos desafios impostos ao mercado (Figoni, 2008). A ciência alimentar é um estudo exacto, dedicado à descoberta e ao esclarecimento das reacções complexas envolvidas na produção alimentar. Um conhecimento geral de como ingredientes básicos são transformados através da temperatura, de agitação, ou de ácidos ou bases, confere ao pasteleiro ou ao padeiro a liberdade para desenvolver novos produtos. Ajuda a resolver problemas, como a mudar o método original de confecção de uma receita, a arranjar atalhos para receitas complexas ou a substituir um ingrediente por outro (America, 2009). Considera-se este conhecimento científico de extrema importância e relevância para incrementar a eficiência de produção e a qualidade dos produtos obtidos. Nas últimas duas décadas, tem sido reconhecida a importância do conhecimento científico e da colaboração entre profissionais de cozinha e de ciência para a evolução técnica, melhoria da eficiência de trabalho e de qualidade dos produtos (Offrede, 2015).

1.1 Motivação

Através de experiência de trabalho na secção de pastelaria de vários hotéis, adquirida ao longo de um ano, foi possível observar que, na actividade prática do dia-a-dia, o papel dado à ciência é mínimo. As receitas utilizadas são normalmente disponibilizadas pelo Chefe de Pastelaria. Estas são, na sua essência, uma colectânea da experiência prática da pessoa. Do que resulta e do que não resulta, baseado em anos de trabalho e de experiências de tentativa erro.

Ao longo do curso de um dia de trabalho, tem de se satisfazer as exigências do serviço de hotel. O que inclui tudo desde serviço de quartos, serviço de banquetes, jantares e almoços privados, sobremesas para o restaurante, à preparação de *mise-en-place* e limpezas. Quando algo corre mal, não há tempo para pensar no que terá acontecido, é deitar no lixo e fazer de novo ou tentar “corrigir” de alguma forma, de modo a que o produto mantenha qualidade e possa ser apresentado ao cliente. Muitas vezes algo corre mal apenas devido a fraco planeamento ou devido a imprevistos, que são inevitáveis.

Possuir um conhecimento, a nível químico, reológico e textural, sobre o funcionamento de um produto alimentar, das interacções que se dão entre os seus ingredientes e do seu comportamento durante o processamento, poderá dar luz sobre o que realmente acontece dentro (e fora) do forno. Poderemos assim evitar erros comuns, tanto ao nível da receita em si como ao nível da sua execução. Poderá ser poupado tempo, recursos e dinheiro. Uma compreensão básica do modo como a química funciona leva a uma maior compreensão e a um melhoramento das técnicas de culinária (Barham, 2001).

Através da experiência pessoal de colegas de trabalho, percebi que no ensino da pastelaria, o papel das ciências alimentares tem pouca relevância. Especialmente em cursos cuja formação é essencialmente prática, os cursos profissionais (de nível IV ou V). Nestes o principal objectivo é formar técnicos especializados para o exercer da profissão. Ensina-se as técnicas e é dada preferência à execução prática, sendo abordado superficialmente o modo como as receitas funcionam.

Só no ensino superior é que as ciências alimentares têm destaque. A licenciatura em produção alimentar e restauração, da escola superior de turismo do Estoril, é um exemplo. Nesta há uma abordagem teórica aprofundada com complemento prático. No entanto, o ingresso no ensino superior é um privilégio que não está acessível a todos. Acredito que os benefícios do conhecimento científico deveriam ser estendidos à formação do técnico profissional. É possível fazer uma adaptação do conhecimento científico teórico, de modo a que este seja relevante e útil nas tarefas diárias do profissional. Estes conhecimentos deveriam também estar mais acessíveis ao público geral, que tenha um interesse na área ou um desejo de estabelecer um negócio próprio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contextualização Histórica

As culturas gregas e romanas antigas já apreciavam a doçaria e incluíam pratos doces no final das suas refeições. Nos mercados gregos vendiam-se bolos feitos à base de farinha, mel e vinho, que se coziavam nos fornos. Entre os romanos, os bolos de mel eram comuns nos banquetes. Estes produtos eram apenas consumidos pelas classes altas, devido aos preços exorbitantes das matérias-primas (Fraile, sem data).

Ao longo da evolução das civilizações, as pessoas têm consumido bolos em diversas ocasiões cerimoniais. Servem-se em várias ocasiões especiais do ciclo da vida, como em feriados, aniversários, casamentos, funerais e baptismos. De facto, os bolos estão associados a todos os rituais de passagem. No mundo antigo estavam ligados ao ciclo anual; as pessoas faziam oferendas aos deuses e espíritos relevantes para determinada época do ano. Os tipos de ingredientes usados, o formato e o tamanho dos bolos contribuíam para o simbolismo. Por exemplo, bolos redondos simbolizavam o sol ou a lua (Andrews, 2000; Toussaint-Samat, 2009).

No início, a linha divisória entre bolo e pão não era tão explícita como é hoje. Nos tempos Romanos, os ovos e a manteiga eram adicionados a uma massa de pão, dando-lhe uma consistência parecida com a massa de bolo. A esta mistura era, frequentemente, adicionado mel para adoçar. Os primeiros bolos eram virtualmente pão, sendo distinguidos deste pela sua forma circular e achatada em cima e em baixo, devido a serem virados durante a cozedura. Existia um bolo Romano, conhecido como *satura*. Este era pesado e achatado, feito a partir de cevada, com passas, pinhões, sementes de romã e vinho doce (Ayto, 2002; Davidson & Jaine, 2006).

2.1.1 Desenvolvimento do Cacau em Pó

O cacaueteiro é originário da floresta equatorial amazónica e em 1735 Lineu baptizou-o de *Theobroma cacao*, ou seja, “alimento dos deuses”. As primeiras plantações conhecidas foram estabelecidas pelos Maias no ano 600 DC. O cacau era conhecido como a comida dos Deuses por este povo e ao longo da história da Humanidade, tem vindo a ser utilizado sobre diversas formas e propósitos, adaptando-se às necessidades da população que dele usufrui. A partir do cacau é produzido o chocolate. Como bebida ou em pastilhas, o chocolate foi, durante muito tempo, um produto de luxo, reservado apenas à aristocracia. A revolução industrial e o empreendedorismo puseram o chocolate ao alcance das classes médias, que graças às primeiras chocolaterias industriais, passa a ser produzido em grandes quantidades e a um custo inferior (Barham, 2001; Beckett, 2004; Khodorowsky & Robert, 2000; Oetterer, Regitano-d'Arce, & Spoto, 2006; Pinto, 2017).

Até 1800 o único produto existente era uma bebida de chocolate muito gordurosa, preparada com o feijão de cacau inteiro, açúcar e especiarias (Minifie, 1989). Graças ao chocolateiro holandês, Coenrad Van Houten, houve um aperfeiçoamento do cacau puro em pó facilmente solúvel. Em 1828 o chocolateiro desenvolveu uma prensa hidráulica para separar os sólidos de cacau da manteiga de cacau. A massa resultante fica com uma percentagem reduzida de manteiga de cacau, entre 10 a 35%. Ao reduzir esta massa a pó obtém-se cacau em pó natural, que continua a ser muito comum nos EUA e no Brasil. Na esperança de conferir ao pó um sabor mais suave e uma maior solubilidade, Van Houten adicionou uma solução alcalina que contraria a adstringência natural do cacau e escurece a sua cor. Este processo de alcalinização é mais comum na Europa. A evolução deste processo, conhecido como *dutching*, colocou os holandeses na vanguarda da produção de chocolates (Beckett, 2004; Brown, 2004; Coady, 2001; Coe & Coe, 2007; Corriher, 2008; Khodorowsky & Robert, 2000).

2.1.2 Desenvolvimento de Levedantes Químicos

Até ao século XIX, toda a produção de dióxido de carbono nos produtos de pastelaria era feita através da fermentação efectuada por leveduras, que eram usadas tanto em pães como em bolos. Em 1840, o desenvolvimento da tecnologia permitiu a produção de bicarbonato de sódio e em 1843, Alfred Bird inventou o primeiro fermento químico*, uma mistura de bicarbonato de sódio com um ácido. O ácido utilizado era o tartárico, um resíduo da produção de vinho. À mistura é adicionado amido para absorver humidade e prevenir reacções químicas prematuras. Estes desenvolvimentos permitiram uma maior acção e poder levedante do que aquele proporcionado pela levedura. A desvantagem destes primeiros fermentos era o facto de actuarem rápido (assim que misturados na massa), sendo fermentos de acção única. Em 1889, William Wright e George Campbell desenvolveram o fermento de dupla acção. Este actua primeiramente na massa crua e depois novamente, dentro do forno. Estes fermentos mais modernos ainda utilizam as mesmas substâncias, mas o creme de tártaro é parcialmente substituído por um ácido de actuação lenta (Davidson & Jaine, 2006; Figoni, 2008; Mariani, 1999).

*A fermentação consiste na conversão de açúcares em dióxido de carbono e etanol na ausência de O₂, por bactérias e leveduras (*McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Science & Technology*, 2005; Offrede, 2015; Parker, 2003). Os fermentos químicos produzidos industrialmente são feitos de modo a que ocorra a produção do dióxido de carbono, gás essencial para levedar a massa, através de uma reacção ácido-base. São chamados de fermentos, mas esse termo não é totalmente correcto do ponto de vista biológico, visto que o verdadeiro fermento (aquele que faz o trabalho de fermentação) é a levedura usada no fabrico de pão.

2.1.3 Mito do Red Velvet

Historiadores, cozinheiros e pasteleiros têm vindo a discordar sobre a origem do bolo americano *Red Velvet*. Alguns dizem que a receita apareceu no Texas, outros situam o seu começo no Indiana. Diz-se também que as primeiras receitas com o corante vermelho datam por altura dos anos 20. Uma das histórias possíveis diz que o bolo *Red Velvet* apareceu nos anos 30, no Hotel *Waldorf Astoria* em Nova Iorque, razão para o bolo também ter o nome *Waldorf Red Velvet* (Byrn, 2016).

A cor vermelha que dá nome ao bolo (*red*) advém originalmente das reacções que ocorrem entre os ingredientes do bolo. Possivelmente pela presença do bicarbonato de sódio. A acidez é conferida por vários ingredientes da receita: cacau em pó, leite fermentado e o vinagre. Esta reacção cria uma cor naturalmente avermelhada na massa. Os pasteleiros começaram a adicionar sumo de beterraba ou um corante para intensificar a cor obtida por esta reacção e o resultado seria o *Red Velvet*, como o conhecemos hoje (Byrn, 2016; Gray, 2009).

2.2 Bolos, O Processo Geral

2.2.1 A Estrutura

São quatro os factores principais que determinam a qualidade dos alimentos e, por consequência, a aceitação do produto pelo consumidor: aparência (que inclui a cor, a forma, o tamanho e o brilho), sabor (inclui o gosto e o aroma), textura (sensação tátil) e características nutricionais (Botelho, 2012; Schmitz, 2014). A importância dada às propriedades nutritivas em produtos de pastelaria tem vindo a aumentar nos últimos anos, mas nos bolos os primeiros três factores são os mais importantes.

Os ingredientes que mais contribuem para as propriedades de textura são aqueles que contêm na sua composição proteínas, hidratos de carbono ou lipídios. Estas macromoléculas, devido às suas propriedades e através de utilização apropriada, ajudam o pasteleiro nas suas produções diárias. Os hidrocolóides podem exercer funções emulsionantes, espessantes e gelificantes. A utilidade e importância dos hidrocolóides advêm das suas propriedades funcionais. O termo “propriedades funcionais” diz respeito às características dos biopolímeros que contribuem para a estrutura do alimento, com elevado impacto nas características sensoriais. As proteínas e os hidratos de carbono são os dois tipos de hidrocolóides responsáveis pela estrutura, propriedades mecânicas e físico-químicas de muitos alimentos (Schmitz, 2014).

2.2.1.1 Proteínas

Das moléculas orgânicas presentes num bolo, as proteínas são das mais importantes, estando presentes em todos os ingredientes estruturais. As proteínas são complexas macromoléculas cuja estrutura primária é determinada pela sequência de aminoácidos, única para cada molécula (Belitz & Grosch, 1987; Gaman & Sherrington, 1977; Hudson, 1992). A grande diversidade de funções que as proteínas têm capacidade de desempenhar é uma consequência das suas elaboradas estruturas tridimensionais, as quais lhes permitem converter formas de energia ou gerar peças estruturais. As propriedades físico-químicas funcionais das proteínas contribuem para as características desejáveis dos alimentos e para o seu comportamento durante a preparação, transformação e armazenamento. Vão influenciar as características sensoriais, texturais e nutricionais dos produtos finais, que são um dos parâmetros de maior relevância na aceitabilidade do produto final pelo consumidor (Alleoni, 2006; Monteiro, 2017; Parker, 2003; Quintas, Freire, & Halpern, 2008).

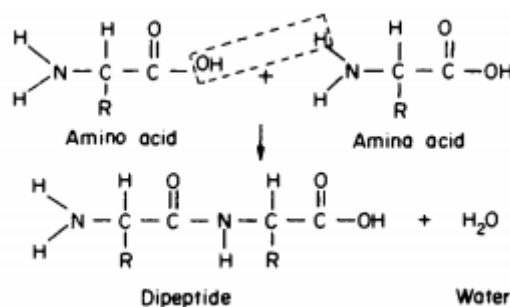


Figura 1: Ligação Peptídica. Fonte: Gaman & Sherrington (1977).

Nos bolos e noutros sistemas alimentares, as proteínas apresentam muitas propriedades funcionais relacionadas com a formação da estrutura: absorção e aprisionamento de água, propriedades de coesão-adesão, elasticidade, gelificação, emulsificação, formação de espumas e sabor (Hudson, 1992; Nunes, 2003).

Muitas destas capacidades funcionais dependem da exposição dos grupos hidrofóbicos na superfície molecular e da interacção destes com água, óleo (formando uma emulsão), com o ar (formando espumas) ou com outras moléculas proteicas. No seu estado natural, a estrutura proteica é tal que estes grupos hidrofóbicos permanecem dentro do arranjo molecular, sem serem expostos à água, enquanto os grupos hidrofílicos estão no lado de fora a interagir com a água e determinando a solubilidade da proteína. Para que estes grupos estejam disponíveis para interacções é necessário que haja uma desnaturação proteica parcial. Esta desnaturação consiste na perda parcial da estrutura tridimensional da proteína. A estrutura tridimensional das proteínas é como uma bobina ou uma mola, que desenrola quando exposta a calor (normalmente acima de 40°C), sal, ácidos ou por acção mecânica. Quando as proteínas desnaturam, têm a tendência de formar ligações umas com as outras, coagular e formar protuberâncias sólidas (Alleoni, 2006; America, 2009; Barham, 2001; Belitz & Grosch, 1987; Quintas et al., 2008).

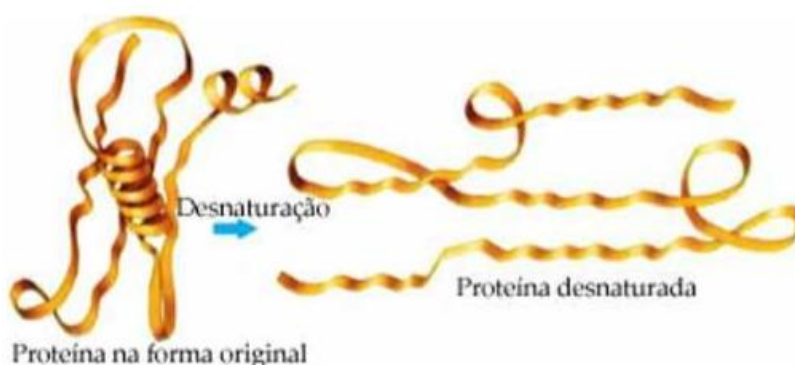


Figura 2: Desnaturação Proteica. Fonte: Monteiro (2017).

2.2.1.2 Espumas

Uma espuma pode ser definida como um agregado de bolhas que se forma na superfície de um líquido, ou seja, uma suspensão coloidal de um gás num líquido contínuo ou numa fase semi-sólida que contém um surfactante solúvel. O gás é normalmente o dióxido de carbono ou o ar e a fase contínua é uma solução aquosa que contém proteínas (Hudson, 1992). Podemos encontrar espumas em pães, bolos, bolachas, merengues, gelados e outros produtos de pastelaria. Estes dependem da incorporação de ar para manter a sua textura e estrutura durante e depois da confecção. A estabilização da espuma origina uma estrutura em que a matriz contínua é rígida, formando uma esponja. Nos bolos e pães esta estabilização ocorre com o calor forno: durante a cozedura a espuma converte-se numa esponja, um sistema no qual todos os alvéolos estão conectados e os gases conseguem mover-se livremente pela matriz. O momento em que ocorre esta conversão é determinado pela formulação da massa (Adrià, 2004; Alleoni, 2006; Cauvain & Young, 2001).

A capacidade das proteínas para formar e estabilizar uma espuma está relacionada com o seu comportamento anfifílico, ou seja, possuírem secções com aminoácidos hidrofóbicos e secções com aminoácidos hidrofílicos. São substâncias com actividade superficial (tensioactiva) e que tem a capacidade de alterar as propriedades superficiais interfaciais de um líquido. As proteínas encapsulam e retêm o ar, melhorando os atributos texturais desejáveis (Alleoni, 2006; Barham, 2001).

Na formação de espumas proteicas, há uma desnaturação parcial e um desdobramento das cadeias polipeptídicas. Ocorre um rearranjo de polipéptidos na interface, orientado por mobilidade polar. Os grupos hidrofílicos das proteínas são atraídos para a fase aquosa e os grupos hidrofóbicos voltam-se para a fase gasosa. As proteínas vão actuar como estabilizantes das espumas através da formação de um filme flexível e coeso que envolve as bolhas de ar. Este filme é essencial para a estabilidade da espuma (Alleoni, 2006; Hudson, 1992; Lomakina & Míková, 2006).

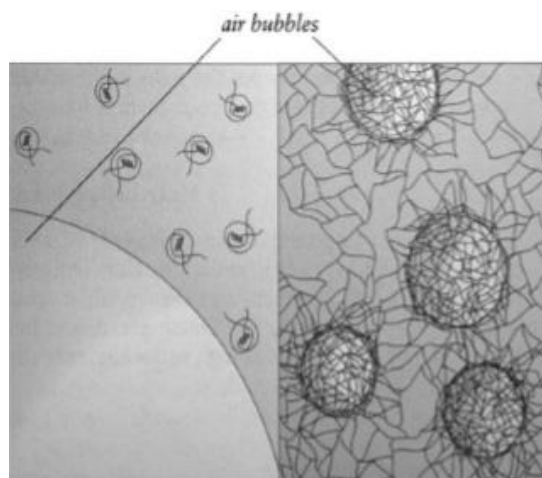


Figura 3: Espuma de Claras de Ovo. Proteínas por Desnaturar (esquerda). Ligações das Proteínas Desnaturadas (direita). Fonte: McGee (2004).

2.2.1.3 Géis

A capacidade das proteínas para formar géis é importante para estrutura e textura de muitos alimentos. As propriedades gelificantes são encontradas no leite, iogurte e ovos (Hudson, 1992). Na literatura existem diversas definições de gel, uma delas é dada por Doublier e Thibault (1984). Descrevem um gel como sendo um sistema bifásico constituído por uma rede macromolecular tridimensional sólida, retendo na sua malha uma fase líquida. Devido ao tipo de organização da rede, esta apresenta resistência a certas tensões, tendo também a capacidade de reter moléculas de água e outros compostos de baixo peso molecular. A água actua como um solvente e afecta a natureza e a força das ligações intermoleculares, mantendo a integridade da rede. Um gel é portanto um sistema intermediário entre um sólido e um líquido (Alleoni, 2006; Michel, Thibault, & Doublier, 1984; Nunes, 2003; Schmitz, 2014). A gelificação difere da coagulação, porque envolve uma matriz tridimensional bem ordenada, com um balanço entre forças repulsivas e atractivas. A coagulação é menos ordenada, são ligações mais aleatórias de proteínas desnaturadas (Hudson, 1992).

A funcionalidade de um gel é determinada pela distribuição espacial das suas macromoléculas e pela contribuição dos vários tipos de forças de ligação para a formação da rede. A contribuição dos diferentes tipos de ligações depende, em grande parte, das condições do processo de gelificação: concentração de biopolímeros, pH, temperatura, força iónica e tipos de iões e pressão hidrostática. Para a formação de gel, os polímeros alimentares têm de formar ligações fortes entre si, constituindo as zonas de junção. As energias das ligações nas zonas de junção do gel apresentam um papel bastante importante para a funcionalidade do mesmo (Hudson, 1992; Nunes, 2003; Schmitz, 2014).

A gelificação das proteínas do ovo e a formação do glúten através das proteínas presentes na farinha são passos muito importantes para a formação da estrutura de um bolo. Para além das proteínas existem outras macromoléculas capazes de formar géis em sistemas alimentares. O amido, um polissacárido complexo, é um exemplo. A sua capacidade para formar géis é de grande importância para manter a estrutura alimentar.

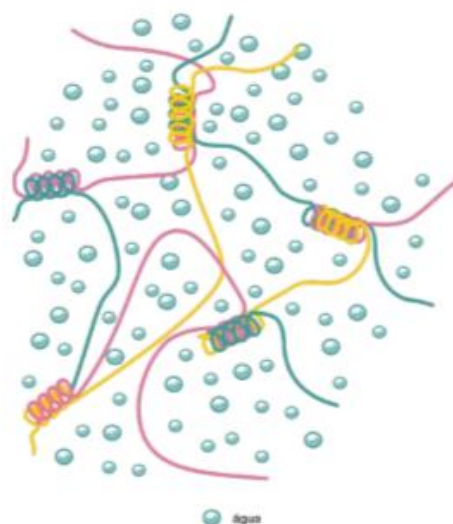


Figura 4: Início da formação da rede tridimensional de um gel. Fonte: Monteiro (2017).

2.2.1.4 Emulsões

Uma emulsão é uma dispersão coloidal formada por dois líquidos imiscíveis (geralmente óleo e água), que não são capazes de formar uma solução homogênea verdadeira e com um dos líquidos disperso no outro sob a forma de gotas. Uma emulsão é assim um sistema de duas fases, com uma fase contínua e outra dispersa. Quando são misturados, um dos líquidos fragmenta-se em gotas minúsculas (fase dispersa) e o outro mantém-se como uma matriz para as gotas (fase contínua) (America, 2009; Raymundo, 2003). É criado um filme interfacial entre a gordura e a água, que determina as características das emulsões: a concentração e a composição deste filme influenciam as propriedades físico-químicas das emulsões (Anton & Gandemer, 1999; Raymundo, 2003). Existem dois tipos de emulsões: temporárias e permanentes. Nas temporárias, as duas fases separam-se após um curto período de tempo. Nas permanentes, as duas fases não se separam facilmente devido à presença de um terceiro elemento, o emulsionante. Os emulsionantes são substâncias capazes de se ligar a gordura e a água, facilitando a preservação de uma emulsão estável ao longo do tempo (America, 2009; Raymundo, 2003). A manteiga é um exemplo de uma emulsão de gotas de água suspensas numa gordura sólida. Num bolo, as proteínas fornecidas pelos diversos ingredientes vão interagir com a gordura. Os grupos hidrofóbicos expostos vão revestir as gotas de manteiga ou óleo presentes na massa (Barham, 2001). A emulsão que se forma na massa do bolo (entre a gordura e os restantes líquidos) é um sistema importante para a estabilização e para formar uma massa homogênea que coza correctamente.

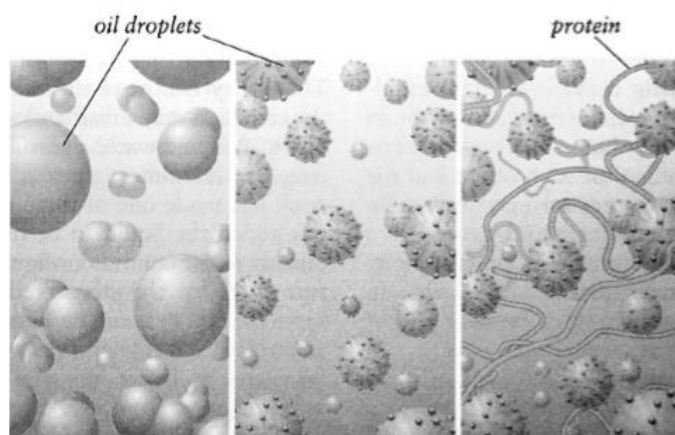


Figura 5: Separação de Fases: Óleo/Água (esquerda). Emulsificantes Impedem Separação de Fases (centro). Proteínas e Amido Agem Como Emulsificantes (direita). Fonte: McGee (2004).

2.2.2 Métodos de Confecção

Existem duas fases importantes na confecção de um bolo: a mistura dos ingredientes e o cozimento da massa. A qualidade e a correcta quantidade de ingredientes, o modo de pré-preparação da forma e do forno são factores importantes a ter em conta na elaboração de um bolo. Mas mais importante ainda, será a forma como os ingredientes são incorporados. Uma receita bem concebida terá bastantes instruções sobre a forma correcta de incorporar os ingredientes. Uma incorporação incorrecta leva ao aumento da probabilidade de algo correr mal e de não obtermos o produto final desejado (Brown, 2004; Figoni, 2008).

2.2.2.1 A Incorporação dos Ingredientes

Para além de juntarmos todos ingredientes para formar a massa do bolo, estamos a criar uma espuma. A massa crua é considerada uma espuma devido à sua capacidade para incorporar ar. O ar introduzido mecanicamente tem a função de criar bolhas de ar na massa. A correcta introdução de ar é muito importante para se obter um produto final volumoso, leve e poroso: sem a correcta distribuição das bolhas (ou alvéolos), o bolo poderá não crescer (massa pouco batida) ou poderá crescer demasiado e abater (massa muito batida). A formação de uma estrutura alveolar uniforme é de grande importância para a qualidade da estrutura e textura do produto final. Durante a cozedura nenhuma bolha nova é formada, apenas há a expansão das criadas previamente, através de vapor de água e dióxido de carbono. Os alvéolos são suportados pelas moléculas estruturais, estas são, essencialmente, as proteínas dos ovos, do leite, o glúten e o amido da farinha. No produto final, são estas moléculas que conferem a estrutura e formam o miolo do bolo: o tamanho final dos alvéolos e o volume do bolo são uma função das bolhas de ar incorporadas durante a mistura (Corriher, 2008; Ebeler, Breyer, & Walker, 1986; Figoni, 2008).

Nos bolos em que se utiliza levedantes químicos, os ácidos reagem com o bicarbonato de sódio logo nesta fase de incorporação. O dióxido de carbono produzido confere leveza e torna a massa mais fácil de mexer. Tal como o ar, o dióxido de carbono incorporado nesta fase, também contribui para formar alvéolos. Idealmente, a maioria da libertação de dióxido de carbono ocorre durante cozedura de modo, a coincidir com a formação e expansão da esponja (Brown, 2004; Figoni, 2008). A gordura incorporada, seja manteiga ou óleo, forma uma emulsão. Pequenas gotas (óleo) ou pedaços (manteiga) envolvem partículas proteicas e interferem com a formação de ligações estruturais (Figoni, 2008).

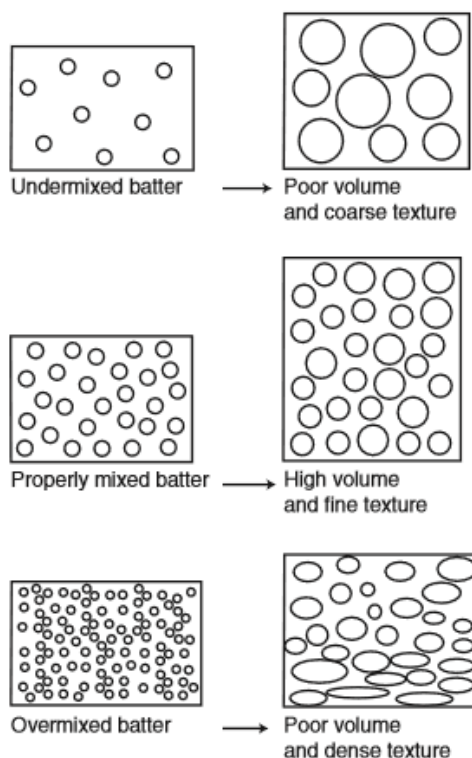


Figura 6: O Efeito da Mistura da Massa no Volume Final e no Miolo do Bolo. Fonte: Figoni (2008).

2.2.2.2 O Que Ocorre Dentro do Forno

Converter uma massa fluida para as características desejáveis do produto final é o resultado de conseguir tanto a temperatura como os timings certos durante a cozedura. A estrutura da espuma da massa é convertida numa estrutura de esponja (Cauvain & Young, 2001; Dobraszczyk, 2006). Quando o bolo é removido do forno, os gases escapam ou contraem e a estrutura da massa mantém-se.

Mas antes de obtermos uma esponja, a massa passa por uma série de alterações dentro do forno. Nesta fase, ocorrem uma série de reacções que são aceleradas com a presença do calor do forno. A gordura começa a derreter com o calor do forno, primeiro na parte de fora do bolo e depois estendendo as partes interiores. Os gases, incorporados durante a mistura, expandem

com o calor, forçando a estrutura da massa a crescer: empurram as paredes dos alvéolos formadas pelas proteínas e esticam a massa, tornando-a mais macia. Este processo começa lentamente a partir da parte exterior da massa e estende-se gradualmente para o interior. Seja na forma de leite ou ovos, qualquer produto de pastelaria tem de conter água. Quando a água líquida passa a vapor, aumenta o seu volume em cem vezes mais. Mesmo com o uso de levedantes que produzam dióxido de carbono, o vapor de água é o gás que contribui mais para o volume final do produto (Brown, 2004; Cauvain & Young, 2001; Dobraszczyk, 2006; Figoni, 2008). À medida que a temperatura continua a aumentar, algum do amido começa a gelatinizar enquanto o bolo ainda está num estado fundido. A temperatura à qual a estrutura está formada depende da concentração de sacarose. Quanto maior a concentração de sacarose, maior será a temperatura necessária para a gelatinização e a massa mantém-se fluida durante mais tempo (Cauvain & Young, 2001).

O processo de cozedura é muito complexo, com várias mudanças na textura da massa do bolo e no grau de libertação de dióxido de carbono, ocorrendo ao mesmo tempo. O fermento químico liberta algum dióxido de carbono assim que entra em contacto com humidade, mas a proporção da libertação do gás aumenta drasticamente quando a temperatura aumenta acima dos 50°C, aumentando o tamanho das pequenas bolhas formadas na fase da mistura. À medida que a temperatura aumenta, a massa perde viscosidade e fica mais líquida, nesta fase as bolhas expandem facilmente e começam a subir para a superfície. Se as bolhas ficarem demasiado grandes ou a mistura muito líquida, os gases podem-se libertar. Se demasiado gás é perdido, o bolo não vai crescer correctamente. À medida que a temperatura aumenta, acima dos 60°C, as proteínas dos ovos começam a desnaturar e a formar outras ligações, tornando a mistura mais espessa. Uma mistura mais espessa vai estabilizar as bolhas de ar e o gás libertado vai aumentá-las mais um pouco. Mas existe um limite, demasiado gás e as bolhas rebentam. Assim o crescimento de um bolo depende de um balanço delicado de vários processos: grau de geração de dióxido de carbono às várias temperaturas, a quantidade total de gás produzida, o ritmo ao qual a massa aquece no forno e o grau de desnaturação proteico (Barham, 2001; Dobraszczyk, 2006).

2.2.2.3 *Métodos de Mistura*

As funções dos ingredientes podem ser maximizadas ou minimizadas dependendo do método de mistura escolhido. Os objectivos da mistura da massa incluem: uniformizar a distribuição dos ingredientes, minimizar a perda do agente levedante, otimizar a mistura para obter as características texturais desejáveis e otimizar o desenvolvimento do glúten (Parker, 2003).

Existem certas regras que se aplicam à preparação de qualquer bolo, independentemente do método de mistura utilizado. Peneirar todos os ingredientes secos é importante, não só para remover quaisquer grumos que se possam formar, mas também para os misturar de forma uniforme e garantir uma massa bem envolvida com o mínimo de tempo de mistura possível. Outra vantagem de peneirar os secos é a distribuição uniforme do levedante químico, de modo

a garantir uma textura do miolo uniforme. Um tempo curto de mistura é um factor importante, porque um glúten demasiado desenvolvido é indesejável. Todos os ingredientes devem estar a temperatura ambiente, ingredientes demasiado frios podem talhar a massa. Os líquidos devem ser adicionados gradualmente à massa, de modo a garantir a completa incorporação (America, 2009).

Existem vários métodos de mistura. Uns são específicos para massas com leveduras, outros são usados em *muffins*, biscoitos, bolachas e tipos específicos de bolo. Mudar o método de mistura ou a temperatura a que se mistura os ingredientes pode mudar o produto final de forma drástica (Brown, 2004). Existem dois métodos distintos que são usados para incorporar uma boa quantidade de ar nas massas de bolos: o método *Foaming* e o método *Creaming*. Independentemente do método utilizado, os alvéolos de ar incorporados facilitam a levedação do produto e são importantes para o desenvolvimento da estrutura durante a cozedura. Se as células de ar não estão bem desenvolvidas, o produto resultante irá ser denso e terá com uma migalha grosseira (America, 2009).

2.2.2.3.1 Método *Creaming*

Com este método a massa é formada com base numa de emulsão de gordura em água, com ar aprisionado na fase gordurosa. Os outros ingredientes são dissolvidos na fase aquosa (Cauvain & Young, 2001). Este método utiliza a manteiga e o açúcar para incorporar ar: bate-se a manteiga até formar um creme leve e fofo, ao mesmo tempo que se incorpora o açúcar aos poucos. O objectivo é incorporar os cristais de açúcar através da manteiga, de modo a criar pequenos alvéolos de ar na mistura. Nos bolos feitos com este método, os alvéolos de ar são, na sua maioria, formados através do ar introduzido na manteiga (America, 2009; Brown, 2004; Gaman & Sherrington, 1977; Weaver, 2006). Para seguir este método, primeiro bate-se a manteiga (amolecida) com o açúcar em velocidade média, até a mistura apresentar uma cor mais clara e uma textura lisa. Um creme leve e pálido de cor indica que se incorporou uma quantidade suficiente ar. De seguida, adiciona-se gradualmente os ovos, até incorporação total. Nesta fase, está-se a criar uma emulsão. Por fim, adiciona-se um terço dos ingredientes secos e metade dos restantes ingredientes líquidos, misturando até incorporar bem. Repetir até serem incorporados todos os ingredientes (America, 2009; Cauvain & Young, 2001).

2.2.2.3.2 Método *Foaming*

Este método utiliza os ovos e o açúcar para incorporar ar: bate-se os ovos até formarem uma espuma leve, ao mesmo tempo que se incorpora o açúcar aos poucos. A desnaturação das proteínas dos ovos através da acção mecânica é responsável pela estabilização da espuma. Nos bolos feitos com este método, os alvéolos de ar são, na sua maioria, formados através do ar introduzido nos ovos. A espuma consegue ser razoavelmente estável, mas são

aconselhados cuidados adicionais para que todos os ingredientes estejam prontos a misturar, de modo a que se perca o mínimo de tempo possível e se evite perdas de volume da massa. Para seguir este método, primeiro bate-se os ovos com o açúcar em velocidade alta, até a mistura aumentar de volume. Tipicamente, os ovos expandem até quatro ou seis vezes mais o seu volume original. Depois adiciona-se os ingredientes líquidos e de seguida envolve-se os ingredientes secos peneirados, gradualmente, mas de forma rápida para prevenir perdas de volume excessivas. Por fim, deve-se envolver a manteiga previamente derretida. É recomendado temperar a manteiga primeiro, incorporando uma pequena quantidade de massa na manteiga e só depois adicionar esta mistura à restante massa. Este truque ajuda a envolver a manteiga e previne perdas de volume da massa. Assim que a manteiga é adicionada, a espuma começa a colapsar: pequenas bolhas de ar coalescem em bolhas maiores. É importante por o bolo a cozer assim que se adiciona a manteiga, para reduzir o colapso que ocorre (America, 2009; Barham, 2001).

2.2.2.4 Fórmulas e Receitas

Uma receita, ou uma fórmula, é, no geral, um conjunto de instruções para se produzir um prato com determinadas características a partir de um conjunto de ingredientes. Uma boa receita tem em conta as características do seu leitor, que poderá ter mais ou menos experiência e/ou conhecimentos. É necessário que a escrita de uma receita seja técnica, deverá seguir um método científico, para que o resultado seja possível de repetir sem alterações. Deverá ser acompanhada de imagens e um glossário para termos mais técnicos (Moura, 2011; Ostmann & Baker, 1997).

Existe um conjunto de regras comuns que devem ser seguidas, de modo a minimizar os erros de confecção. Uma receita deve ser: exacta e precisa nos ingredientes e método de confecção; de escrita clara e instruções fáceis de seguir; concisa e ao mesmo tempo completa na informação que revela; e deve ser consistente nos termos que usa (Moura, 2011).

As fórmulas usadas em pastelarias ou padarias profissionais têm de ser standerizadas. Grande parte do trabalho dos chefes consiste na elaboração destas fórmulas, que contem mais que a quantidade de ingredientes ou os diferentes passos de confecção, incluindo por exemplo as porções, métodos de servir, informação sobre o empratamento e sobre os equipamentos usados. Estas fórmulas garantem assim consistência na qualidade e quantidade e eficiência no local de trabalho, reduzindo custos e eliminando desperdício excessivo (America, 2009).

Escolher ou desenvolver uma fórmula bem balanceada e apropriada para cada tipo específico de bolo é muito importante. Percebendo o modo como cada ingrediente influencia o resultado final, consegue-se fazer os ajustes necessários para aperfeiçoar qualquer receita (Amendola & Rees, 2003).

2.2.2.4.1 Percentagens de Padeiro

As percentagens de padeiro têm duas funções básicas. Quando uma fórmula é expressa em percentagem de padeiro é fácil de ver e avaliar a relação entre os diferentes ingredientes. Assim o pasteleiro ou padeiro consegue reconhecer uma fórmula defeituosa, com uma má proporção de ingredientes. A segunda função das percentagens de padeiro é facilitar o uso da fórmula: é fácil de mudar a escala, aumentando ou diminuindo a quantidade de ingredientes. Uma percentagem é parte de um todo, nas percentagens de padeiro o todo (100%) é sempre a farinha. As percentagens dos restantes ingredientes advêm da farinha: cada ingrediente é expresso como uma percentagem do peso total da farinha. A soma total dos ingredientes irá ser sempre acima de 100% (Amendola & Rees, 2003; America, 2009).

2.2.3 Composição Química

2.2.3.1 Reacções Ácido/Base e pH

O pH é uma medida de acidez ou alcalinidade e o símbolo significa “potencial de hidrogénio”, mede a concentração de iões de hidrogénio numa solução, é dado pelo antilog $[H_3O^+]$. Um pH de 7 é neutro e indica um balanço entre os iões positivos (iões H_3O^+) e negativos (OH^-). Um pH entre 7 e 14 indica alcalinidade, um pH entre 1 e 7 indica acidez. Compostos que são carregados, com carga negativa ou positiva, são instáveis, o que significa que tem uma afinidade natural para a neutralidade (Amendola & Rees, 2003; America, 2009; Cauvain & Young, 2001; Denniston, Topping, Woodrum, & Caret, 2014). Os ácidos são substâncias químicas que reagem fortemente com vários materiais, que se ionizam em água para originar iões H_3O^+ (são dadores de protões) e que conseguem neutralizar bases (OH^-), através de reacções ácido-base. Ácidos edíveis, como o ácido cítrico ou o ácido acético, imprimem alterações no sabor. Os ácidos são também conhecidos por mudarem as cores aos alimentos, principalmente vegetais: vegetais azuis passam a vermelhos (como os mirtilos). Os ácidos reagem com carbonatos e bicarbonatos para produzir o dióxido de carbono gasoso. Por outro lado, as bases, como o bicarbonato de sódio, também são conhecidas por transformarem a cor dos alimentos: vegetais vermelhos, ficam azuis, amarelos ficam castanhos e roxos ficam verdes. As bases ionizam-se em água para formar iões OH^- (são receptores de protões) (Barham, 2001; Bennion, 1980; Chang, 2010).

Uma reacção de neutralização é aquela que ocorre entre um ácido e uma base, produzindo um sal e água. O sal é um composto iónico com um catião diferente de H^+ e um anião diferente de OH^- . Alguns sais como carbonatos (contêm o ião CO_3^{2-}) ou bicarbonatos (contêm o ião HCO_3^-) reagem com ácidos formando gás carbónico (CO_2) (Bennion, 1980; Chang, 2010).

2.2.3.2 Reacções de Maillard

É no forno que ocorrem as reacções de *Maillard*, que contribuem para o escurecimento do produto e para realçar o seu sabor e aroma. Estas reacções ocorrem entre os açúcares redutores e os aminoácidos das proteínas, nomeadamente a lisina (America, 2009; Figoni, 2008).

As reacções de *Maillard* são reacções de escurecimento não enzimáticas, que envolvem compostos carbonilo, especialmente açúcares redutores, e compostos que contem um grupo amino livre, como as proteínas. Estas reacções compreendem uma cadeia complexa de reacções interdependentes e ocorrem durante o processamento dos alimentos, especialmente em processamentos a quente. São responsáveis pelo desenvolvimento de aroma e cor dos alimentos e pela perda de propriedades nutricionais. Resultam também na formação de compostos potencialmente tóxicos e no desenvolvimento de compostos com propriedades antioxidantes (Hudson, 1992). Estas reacções só ocorrem a temperaturas extremas. A complexidade destas reacções vem do facto de existirem muitos açúcares e aminoácidos diferentes que podem reagir e também porque os produtos dessas reacções dependem da temperatura à qual ocorrem, da acidez do meio e de outros químicos presentes. As moléculas produzidas nestas reacções são voláteis e são consideradas moléculas aromáticas que providenciam sabor. Na primeira etapa das reacções, as proteínas e os hidratos de carbono são reduzidos a açúcares mais pequenos e a aminoácidos. De seguidas os anéis dos açúcares abrem e os aldeídos e ácidos resultantes reagem com os aminoácidos de modo a produzir uma grande variedade de compostos, que podem reagir entre si para produzir moléculas aromáticas (Barham, 2001).

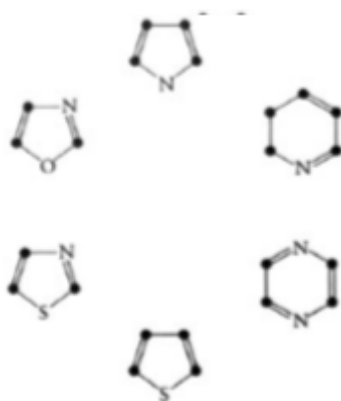


Figura 7: Anéis Centrais de Produtos das Reacções de *Maillard*: (do topo, sentido dos ponteiros do relógio) Pirrol, Piridina, Pirazina, Tiofeno, Tiazol e Oxazol. Fonte: McGee (2004).

2.2.3.3 *Ingredientes: Funções e Interações*

Uma escolha cuidada dos ingredientes, baseada na qualidade, sazonalidade e custo, é um pré-requisito para se obter produtos de pastelaria de elevada qualidade. Cada ingrediente tem um conjunto de características próprio e é da responsabilidade do Chefe de Pastelaria saber a maneira correcta de lidar com todos eles. Quase todos os ingredientes que compõem a fórmula de um bolo têm uma função relacionada com a sua estrutura. O segredo para um bolo perfeito é manter estas funções em equilíbrio. A maneira como os ingredientes interagem uns com outros durante a mistura e durante a cozedura vai determinar as qualidades do produto final. Podemos dividir os ingredientes em quatro categorias funcionais, sendo que um ingrediente pode ter mais de uma função e uma função é sempre desempenhada por mais do que um ingrediente (America, 2009; Brown, 2004).

A primeira categoria é constituída pelos “formadores de estrutura”. Estes ingredientes têm como função desenvolver o que irá ser estrutura sólida do bolo e fortalecer a massa. São responsáveis pelo volume e pela forma. A farinha e os ovos são exemplos. A segunda categoria é constituída pelos ingredientes que interferem com a formação da estrutura. Têm como função enfraquecer ou amaciar a massa. São necessários para que o bolo tenha uma dentada fácil e seja agradável de se consumir. Uma fórmula que contenha estes ingredientes em excesso, não irá desenvolver estrutura e o produto desfaz-se. Açúcares e xaropes, gorduras (manteiga ou óleo) e agentes levedantes são exemplos que encaixam nesta categoria (America, 2009; Brown, 2004; Figoni, 2008).

Na terceira categoria temos os hidratantes, ou seja, água ou qualquer outro ingrediente que contenha água, como o leite ou natas, os ovos, xaropes, a manteiga ou óleo. São responsáveis por conferir humidade ao bolo, ajudando no desenvolvimento do glúten, na gelatinização do amido e dissolvendo outros ingredientes, contribuindo assim para uma consistência homogénea. Na quarta categoria temos os secantes, responsáveis por absorver a humidade. Incluem: cacau em pó e farinhas. Fora destas categorias funcionais, ingredientes como extractos ou aromas, sal, raspas de limão ou laranja, especiarias tem como principal função dar ou intensificar o sabor do bolo (America, 2009; Brown, 2004; Figoni, 2008).

2.2.3.3.1 Ovo

O ovo é um ingrediente que apresenta características polifuncionais - poder de coagulação e gelificação, capacidade de formação de espuma e propriedades emulsionantes - desejáveis em muitos alimentos (Mine, 1995). Os ovos são considerados uma proteína completa, contendo todos os aminoácidos essenciais. Contém também vitamina B e E, e têm um pH de 6.6 (Amendola & Rees, 2003). A gema do ovo contém toda a gordura e menos de 50% das proteínas presentes no ovo. A clara de ovo contém mais de 50% das proteínas do ovo. Os ovos são usados para ligar os ingredientes, para emulsionar ou para engrossar os alimentos mas na produção de bolos e outros produtos de pastelaria a sua função estende-se à

levedação. Os ovos contribuem para a formação da estrutura do bolo através da desnaturação de proteínas, de vapor de água para levedação e conferem humidade para a gelatinização do amido presente na farinha. A gema é rica em agentes emulsionantes, facilitando a incorporação de ar (Parker, 2003). Os ovos promovem a estabilidade da estrutura do bolo durante a cozedura. Facilitam a incorporação e distribuição de ar na massa, promovendo uma textura fina e homogénea. Quando são batidos, normalmente com o açúcar, aprisionam o ar que irá expandir no forno (America, 2009). Os ovos acrescentam sabor, cor e valor nutricional (Weaver, 2006).

Durante a mistura dos ingredientes, o ar entra na solução para formar bolhas, fazendo uma espuma. As proteínas presentes na clara do ovo têm excelentes propriedades de formação de espumas (Lomakina & Míková, 2006) e conferem uma textura leve e porosa. A formação da espuma através dos ovos é feita através da interacção da ovomucina com globulinas. Na presença de lisozima, a estabilidade da espuma e o volume do bolo aumentam. Esse factor terá influência directa na consistência final da massa que irá apresentar maior crescimento de forno e consequente leveza. Por fim os ovos acrescentam sabor e aroma ao produto final e promovem ainda a ocorrência de reacções de *Maillard* devido ao alto teor de proteínas (Hudson, 1992; Offrede, 2015).

O ovo possui propriedades emulsionantes, resultante da presença de lecitina e de outras proteínas e permitem estabilizar emulsões e espumas (Offrede, 2015). Os constituintes da gema de ovo, como as proteínas, contribuem para formação de um filme entre a água e gordura, responsável pela estabilização de emulsões (Anton & Gandemer, 1999).

Através da coagulação parcial das suas proteínas, o ovo contribui para uma textura suave e espessa (America, 2009). Quando as claras são aquecidas as proteínas desnaturam e formam novas ligações, formando um gel, que é a clara cozida. Os ovos dão as proteínas que coagulam durante a cozedura e conferem ao bolo a sua textura firme (Barham, 2001).

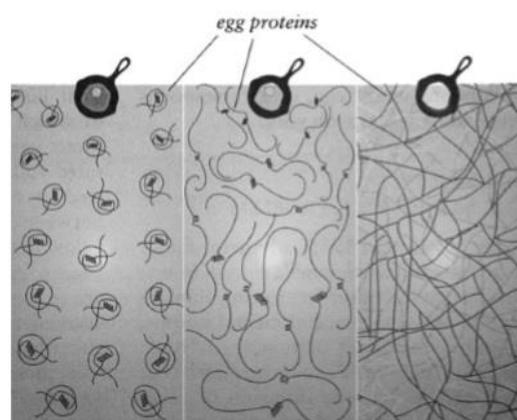


Figura 8: Proteínas do Ovo na Forma Nativa (esquerda). O Aquecimento Provoca a Desnaturação das Proteínas (centro). As Proteínas Desnaturadas Começam a Ligar-se Formando uma Rede (direita). Fonte: McGee (2004).

2.2.3.3.2 Manteiga

A manteiga é feita a partir do leite de vaca, tendo aproximadamente 80% de gordura, 10-15% de água e 5% de sólidos do leite. A manteiga tem a vantagem de conferir melhor sabor e de ter um ponto de fusão baixo, quando comparada com outras gorduras (Brown, 2004; Figoni, 2008; Weaver, 2006).

Afecta indirectamente a estrutura do bolo através do seu efeito nas proteínas do glúten e no amido e a estrutura final é o resultado da formação de uma complexa emulsão na massa (Ebeler et al., 1986). A manteiga enfraquece a estrutura do bolo porque a gordura interfere com a hidratação das proteínas e dos grãos de amido. Ao envolverem as proteínas da farinha, criam uma película que dificultará a hidratação e consequentemente a formação do glúten, resultando no bolo mais tenro e macio. A manteiga melhora assim as qualidades texturais do bolo, para além de providenciar sabor. Atrasa a retrogradação do amido, melhorando o tempo de prateleira do produto. Para além de envolver partículas proteicas e inibir a formação de estrutura, a manteiga, como tem uma percentagem de água na sua composição, contribui para levedar a massa. Quanto mais tarde derreter no forno, maior irá ser o seu poder levedante, porque os gases escapam ao mesmo tempo que as “paredes” proteicas se estão a formar. A manteiga é também usada para facilitar a incorporação de ar na massa (no método *Creaming*) (America, 2009; Offrede, 2015; Parker, 2003). A gordura melhora a retenção de gás, ajudando a controlar o tamanho da bolha de gás e dando estabilidade. Quando mais tempo as bolhas estiverem retidas na massa, maior será o volume final do bolo (Cauvain & Young, 2001).

2.2.3.3.3 Açúcar

O açúcar branco refinado a partir da cana é 98% sacarose pura (Barham, 2001; Weaver, 2006). A sacarose é um dissacárido, composta por uma molécula de glucose e uma de fructose (figura 9) (Belitz & Grosch, 1987; Denniston et al., 2014; Gaman & Sherrington, 1977). O açúcar branco é utilizado para adoçar e melhorar a aparência dos produtos finais, mas também tem outras funções importantes relacionadas com a estrutura. Através da caramelização e das reacções de *Maillard*, o açúcar contribui para o desenvolvimento da cor e sabor dos bolos. O açúcar interage também com o amido presente na farinha, atrasando a sua gelatinização, o que irá permitir que o bolo cresça antes que a estrutura fique demasiado rígida. O açúcar é higroscópico e atrai a humidade presente na massa do bolo, retendo-a na sua estrutura. Isto atrasa o desenvolvimento do glúten, que precisa de humidade para formar a sua estrutura. Nas correctas proporções o açúcar ajuda a manter a elasticidade do glúten, permitindo uma levedação mais eficiente, aumentando o volume e criando uma estrutura macia. A retenção de humidade também ajuda na preservação do produto final. É utilizado como um agente para ajudar na incorporação de ar nas massas, batendo a manteiga com o açúcar ou os ovos com o açúcar (America, 2009; Bennion, 1980; Offrede, 2015). O açúcar absorve a humidade dos ovos, tornando a espuma mais estável. O açúcar aumenta a temperatura necessária para as

proteínas do ovo e da farinha desnaturarem, dando mais tempo à massa para crescer. O açúcar de cana tem um pH entre 6.5 e 7 (Amendola & Rees, 2003; Parker, 2003; Weaver, 2006).

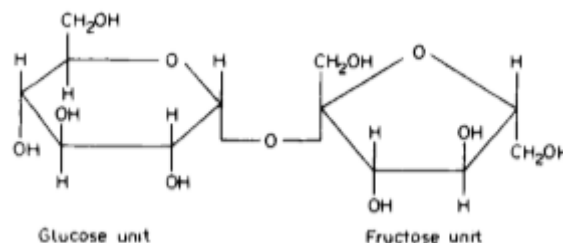


Figura 9: Estrutura da Sacarose. Fonte: Gaman & Sherrington (1977).

2.2.3.3.4 Iogurte

O iogurte é um leite fermentado semi-sólido originário da Bulgária. O iogurte é produzido por inoculação de bactérias lácticas no leite, sob condições controladas. A bactéria fermenta a lactose criando ácido láctico, isto engrossa o leite e confere-lhe um sabor forte e ácido. Os produtos da fermentação, como o ácido acético e o ácido láctico, contribuem para o sabor e textura do iogurte (Amendola & Rees, 2003; America, 2009; Parker, 2003). Uma função essencial do iogurte nesta receita é conferir acidez à massa do bolo

2.2.3.3.5 Vinagre

Normalmente o vinagre contém entre 4 e 8% de ácido acético, conferindo acidez (Parker, 2003). O ácido acético é produzido pela oxidação bacteriana de soluções etanólicas. Compostos de nitrogénio, minerais e outros nutrientes são adicionados ao meio alcoólico para suportar o crescimento e o metabolismo das bactérias. Bactérias pertencentes ao género *Acetobacter* são responsáveis pela produção do vinagre (*McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Science & Technology*, 2005). O ácido acético é um electrólito fraco, porque a sua ionização é incompleta, por isso denomina-se ácido fraco (Chang, 2010). O vinagre tem um pH entre 2.2 e 3.4 (Amendola & Rees, 2003).

2.2.3.3.6 Extracto Baunilha

Muitas ervas, especiarias e frutos secos são utilizados para preparar extractos, que são à base de álcool. Um extracto muito comum é o de baunilha (America, 2009). Estes extractos são adicionados em quantidades muito reduzidas para dar cor e sabor.

2.2.3.3.7 Farinha

Todas as farinhas têm na sua composição amido e proteínas, mas a farinha de trigo tem uma percentagem elevada de proteínas que formam o glúten (8 - 14%). O trigo é caracterizado por ter alto conteúdo de hidratos de carbono, pouca humidade (11 - 13%), pouca quantidade de lípidos, enzimas, fibras, minerais e vitaminas. Os hidratos de carbono são sobretudo o amido e as proteínas incluem a glutenina e a gliadina. Os melhores bolos são feitos com farinhas que tem uma baixa percentagem de proteínas (7-9%), estas farinhas originam bolos macios, com pouco desenvolvimento de glúten. A farinha dá força à massa e absorve a maior parte da humidade. A farinha tem normalmente um pH entre 5.7 e 5.9, mas a farinha produzida especialmente para bolos é ácida com um pH de cerca de 5. O que ajuda na desnaturação das proteínas dos ovos (Amendola & Rees, 2003; America, 2009; Corriher, 2008).

Tabela 1: Tabela de Composição da Farinha T55 Nacional (utilizada neste trabalho).

Declaração Nutricional – Valores Médios		Por 100g	
Nutriente	Quantidade	Unidade	
Energia	1483	Kj	
Energia	350	Kcal	
Lípidos	1	G	
Lípidos, dos quais Ácidos Gordos Saturados	0,3	G	
Hidratos de Carbono	74	G	
Hidratos de Carbono, dos quais Açúcares	3	G	
Fibras	2,3	G	
Proteínas	10	G	
Sal	0,03	G	

2.2.3.3.7.1 Glúten

O glúten é um produto formado pela manipulação da farinha acrescida de água, e não como um constituinte natural da farinha. O glúten é uma matriz viscoelástica determinante da estrutura da massa e as proteínas que dão origem à sua formação são divididas em duas fracções, de acordo com a sua solubilidade em solução álcool-água: a gliadina que é solúvel e a glutenina que é insolúvel. As gliadinas são proteínas com uma estrutura de cadeia simples e quando hidratadas têm pouca elasticidade. Assim, contribuem principalmente para a viscosidade da massa. Em contraste, a glutenina é formada por agregados de proteínas e, quando hidratada, confere coesividade e elasticidade à massa. Quando a farinha é misturada com água, as duas proteínas começam a ligar-se para formar o glúten. Quando se forma o glúten, ele torna a massa elástica e espessa. No forno, ele cresce e constitui a estrutura do bolo (America, 2009; Barham, 2001; Botelho, 2012; Parker, 2003).

O glúten confere ao bolo a sua estrutura, força e textura (Weaver, 2006). O glúten permite à massa prender o gás e as bolhas de ar na sua estrutura. Os grânulos de amido são também

mantidos pela matriz do glúten. Quando o glúten coze, liberta água que fica livre para interagir com o amido (Amendola & Rees, 2003).

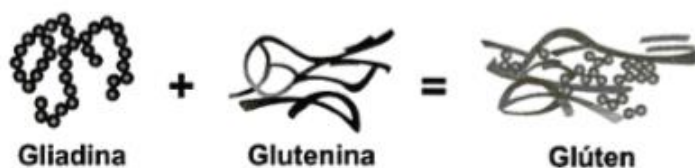


Figura 10: Formação do Glúten. Fonte: Botelho (2012).

2.2.3.3.7.2 Amido

O amido é um polissacárido constituído por unidades de glucose. Existem dois tipos de moléculas de amido: amilose e amilopectina. O amido do trigo tem entre 16 e 24% de amilose e 84 a 76% de amilopectina. As moléculas de amilose contribuem para a formação do gel, porque são moléculas lineares capazes de se orientar paralelamente e formar ligações. A amilopectina tem uma estrutura ramificada e não contribui para a formação do gel, mas contribui para aumentar a viscosidade (Banks & Greenwood, 1975; Barham, 2001; Denniston et al., 2014; Parker, 2003). O amido é essencial para a formação da estrutura do bolo, controlando a viscosidade da massa e retendo os gases em expansão (Cauvain & Young, 2001).

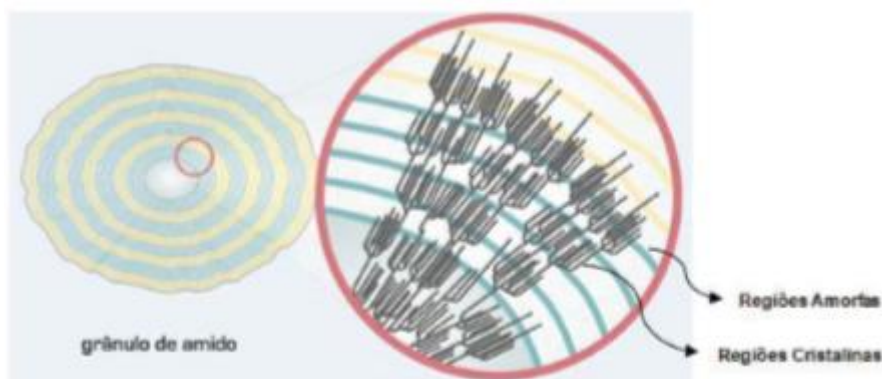


Figura 11: Representação Esquemática de um Grânulo de Amido. Fonte: Botelho (2012).

2.2.3.3.7.2.1 Gelatinização

Os grânulos de amido nativo são insolúveis em água fria devido às ligações de hidrogénio que mantêm unidos os polímeros. Quando estes grânulos são aquecidos na presença de água, ocorre a gelatinização do amido, que se refere à ruptura da ordem molecular dentro dos grânulos, evidenciada pelo inchaço irreversível do grânulo (Banks & Greenwood, 1975;

Botelho, 2012). A solução torna-se esbranquiçada e forma um gel, quando arrefecida. A gelatinização do amido depende da concentração de amilose e de amilopectina, da presença de açúcares e ácidos na preparação e da temperatura (Banks & Greenwood, 1975; Schmitz, 2014). Durante o processo de gelatinização do amido, os grânulos incham, a amilose difunde-se para fora dos grânulos, deixando a amilopectina, e os grânulos eventualmente colapsam e são segurados numa matrix de amilose, fazendo parte da rede do gel (Banks & Greenwood, 1975; Hudson, 1992). Açúcares e pH ácidos interferem com a gelatinização do amido, diminuindo a sua eficácia (Barham, 2001; Parker, 2003). Quanto maior a percentagem de amilose no amido, maior a probabilidade deste de gelificar. Quando maior a percentagem de amilopectina no amido, este vai aumentar a viscosidade ou engrossar sem chegar a formar um gel (America, 2009).

No forno, apenas ocorre gelatinização parcial. A estrutura do glúten interage com os grânulos de amido. Quando a rede de glúten desnatura e perde água, o amido prende este líquido e mantém no igualmente disperso no bolo. A gelatinização do amido providencia mais estrutura ao bolo (Amendola & Rees, 2003).

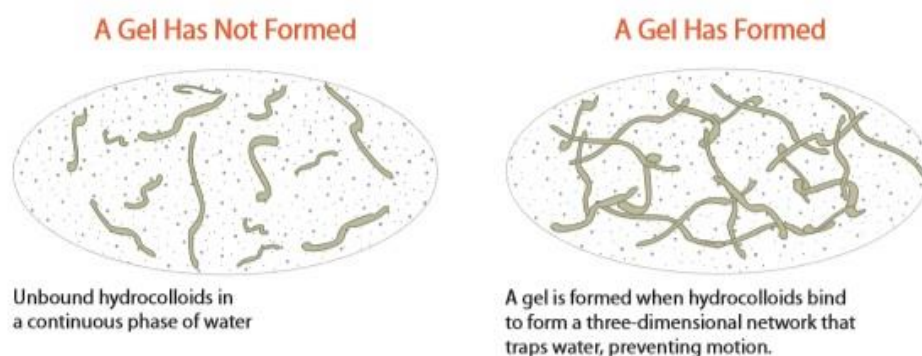


Figura 12: Gelatinização. Fonte: The Culinary Institute of America (2009).

2.2.3.3.8 Sal

A função mais importante do sal é a de abrir e realçar sabores. O sal pode interferir com a formação de estrutura porque retarda a gelatinização dos grãos de amido, com a sua força iónica. Fortifica o glúten e contribui para a elasticidade do produto. Isso pode ser explicado pelo facto de que o glúten é formado por proteínas com carga negativa e tendem a se repelir. Os iões positivos de sódio, ligando-se aos grupos com cargas negativas, irão contribuir para que as moléculas de proteína se aproximem e formem zonas de junção (Amendola & Rees, 2003; America, 2009; Cauvain & Young, 2001; McGee, 2004; Offrede, 2015).

2.2.3.3.9 Levedantes Químicos

Os agentes levedantes são uma categoria de aditivos alimentares usada para produzir dióxido de carbono em produtos de pastelaria/padaria (Parker, 2003). Levedar é erguer ou tornar mais leve. Nos bolos, a levedação é feita através dos gases que se expandem no forno: o vapor de água e o dióxido de carbono. Existem duas maneiras de adicionar dióxido de carbono a uma massa: orgânica (leveduras) e quimicamente (bicarbonato de sódio ou fermentos químicos). Cada método é específico e produz resultados diferentes, podendo ser usados em separado ou em conjunto. Nas massas de bolos, geralmente, a levedura não é utilizada (America, 2009; Figoni, 2008). Na levedação química, uma base interage com um ácido, com a presença de humidade, e reagem para produzir dióxido de carbono. Para além de levedarem, alteram o pH da massa (America, 2009; Figoni, 2008).

2.2.3.3.9.1 Bicarbonato de Sódio

Dos agentes químicos usados para levedar as massas de bolos e outros produtos de pastelaria, o bicarbonato de sódio (composto químico solúvel em água, de fórmula NaHCO_3) é o agente alcalino mais comum. O bicarbonato de sódio tem carga positiva e tende para um estado neutro, produz dióxido de carbono quando aquecido acima de 50°C e é decomposto pela maioria dos ácidos. Quando usado sozinho, decompõe-se em dióxido de carbono e carbonato de sódio (Na_2CO_3), na presença de humidade e calor. O carbonato de sódio deixa um sabor amargo desagradável que faz lembrar o sabor do detergente e confere uma cor amarelada. Por esta razão, o bicarbonato de sódio é sempre usado em conjunto com um ácido. Durante a reacção, o ácido é neutralizado e o dióxido de carbono é libertado. O ácido aumenta a eficácia e a velocidade da reacção. Usando um ácido diminuímos a quantidade de bicarbonato de sódio necessária para a reacção ocorrer, deixando apenas uma quantidade vestigial de carbonato. O ácido é adicionado à massa do bolo sob a forma de diversos ingredientes, tais como leites fermentados, iogurtes, frutas, vinagres, açúcar amarelo, mel ou cacau natural. As cores são afectadas mesmo em ambientes alcalinos suaves: o chocolate fica avermelhado. (America, 2009; Corriher, 2008; Davidson & Jaine, 2006; Figoni, 2008; Lagassé & Columbia University., 2000). O pH do bicarbonato de sódio está entre 8.4 e 8.8 (Amendola & Rees, 2003).

No mercado português comum existe para venda bicarbonato de sódio em pó, cujo nome IUPAC é o hidrogenocarbonato de sódio E500(ii).

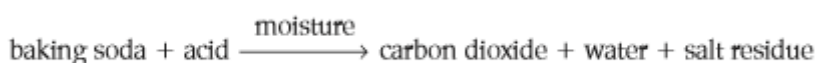


Figura 13: Esquema da Reacção do Bicarbonato de Sódio. Fonte: Figoni (2008).

2.2.3.3.9.2 *Fermento Químico*

O fermento químico é uma mistura de bicarbonato de sódio com um ácido (ou um sal de ácido) e amido. O amido absorve a humidade e previne reacções prematuras. O bicarbonato de sódio vai reagir com o ácido para produzir dióxido de carbono, quando combinados na massa líquida. Os fermentos podem ser de acção única ou de dupla acção. A maioria dos fermentos, comercializados hoje em dia, é de dupla acção. Estes fermentos combinam o bicarbonato de sódio com ácidos secos que têm diferentes solubilidades. Podem conter dois ou mais ácidos ou conter um só ácido, mas este é tratado (encapsulado) de modo a ter uma acção dupla. Um dos ácidos é facilmente solúvel, de acção rápida e dissolve-se na massa, reagindo à temperatura ambiente e o outro é de acção lenta e requer o calor do forno para reagir (Figoni, 2008). O segundo ácido, de acção lenta e de menor solubilidade, necessita de calor para reagir totalmente (Davidson & Jaine, 2006). Os fermentos de dupla acção têm a vantagem de fornecerem uma libertação mais controlada do gás, de modo coincidir com a formação da estrutura do bolo. O tipo de ácido utilizado afecta a taxa de produção de CO₂, se toda a produção de gás ocorrer no início da cozedura, o bolo não irá manter a estrutura. Estes fermentos podem ser rápidos (libertam a maior do gás nos primeiros minutos, e o restante é libertado no forno) ou lentos (maior percentagem de gás libertada no forno) (America, 2009; Corriher, 2008; Figoni, 2008). O pH do fermento é geralmente de 7 (Amendola & Rees, 2003). Os fermentos contêm as quantidades certas de ácido necessárias para reagir com o bicarbonato de sódio, optimizando a eficiência da reacção. Em 5g de fermento, estão apenas 1g de bicarbonato de sódio. Para a mesma quantidade de fermento, o bicarbonato de sódio tem quatro vezes mais o poder levedante do fermento (America, 2009; Corriher, 2008). No mercado português comum, independentemente da marca, o fermento químico tem na sua composição dois aditivos: o difosfato dissódico E-450 (i) e o bicarbonato de sódio E-500 (ii). No mercado biológico já existem diferenças no ácido utilizado para fabricar o fermento químico. Estes fermentos só têm um tipo de ácido na sua composição. Uma marca utiliza o ácido tartárico (E 334), este é o principal ácido encontrado no vinho. Outra marca utiliza tartarato de potássio (E336) extraído de uvas, também conhecido como creme de tártaro, é o sal de potássio do ácido tartárico. Uma terceira marca utiliza o tartarato monossódico e refere a presença de ácido tartárico a 24,7%. O tartarato monossódico (E 335) é um sal do ácido tartárico, neutralizado com sódio.

2.2.3.3.9.2.1 *Ácido Tartárico*

Um dos ácidos utilizados nos fermentos pode ser o ácido tartárico. O ácido tartárico é um resíduo da produção de vinho. Não é um levedante por si só, mas como é um ácido, quando combinado com uma base, como o bicarbonato de sódio, as duas substâncias são neutralizadas e produz-se dióxido de carbono (Amendola & Rees, 2003; Weaver, 2006).

2.2.3.3.10 Cacau em Pó

O fruto do cacaueiro, a cabossa, contém no seu interior dezenas de favas. Depois de retiradas, as favas, que estão cobertas de uma polpa branca, são inseminadas por leveduras que vão fermentar os açúcares presentes na polpa. Este processo de fermentação vai liquidificar a polpa e alterar a cor e sabor da fava de cacau, reduzindo a sua amargura e adstringência naturais. As enzimas agem sobre as proteínas, originando os precursores de aromas e provocando o aparecimento de compostos que, ao oxidarem, dão origem à cor castanha característica do cacau. Depois da fermentação, as favas passam pelo processo de torrefacção. O processo de torrefacção vai desenvolver o sabor a chocolate. Durante este processo há perda de humidade, a cor escurece, há degradação de aminoácidos e as proteínas são parcialmente desnaturadas, há uma perda de ácidos voláteis e de outras substâncias que contribuem para a acidez. O grau das alterações depende do tempo e da temperatura da torrefacção e da taxa de velocidade da perda de humidade. Alguns cacaos em pó, para terem tons avermelhados, precisam de temperaturas baixas de torrefacção (Beckett, 2004; Khodorowsky & Robert, 2000; Minifie, 1989; Oetterer et al., 2006).

Entre o tratamento inicial das favas e o fabrico do chocolate propriamente dito, existe a elaboração da massa de cacau, onde se desenvolvem os aromas formados na fermentação e reduz-se a população bacteriana. Para se obter cacau em pó é necessário prensar a pasta de cacau, a fim de separar a matéria gorda da matéria seca e, de seguida, triturar a matéria seca (Beckett, 2004; Khodorowsky & Robert, 2000).

O cacau em pó contém amido, por isso absorve humidade (Weaver, 2006). O cacau em pó tem uma percentagem muito pequena de gordura, mas como não tem proteínas que formam o glúten, pode ter a função de amaciar a massa (Amendola & Rees, 2003).

2.2.3.3.10.1 Cacau em Pó Natural

O cacau em pó natural, sem tratamentos adicionais, apresenta uma cor que varia entre um tom leve castanho amarelado e um mais escuro. Tal como a massa de cacau, o pó de cacau natural é ácido, com um pH tipicamente entre 5 e 6. Esta acidez ajuda na coagulação das proteínas presentes na massa e acelera a formação da estrutura do bolo. O ácido presente no cacau está disponível para reagir com o bicarbonato de sódio (Corriher, 2008; Figoni, 2008). O bicarbonato de sódio torna a cor castanha do cacau natural em cor de mogno, avermelhada. Se mais ácido é adicionado ao cacau natural, ele fica castanho amarelado (Amendola & Rees, 2003).

2.2.3.3.10.2 Cacau em Pó Alcalinizado

O cacau em pó alcalinizado foi tratado com uma base, normalmente o carbonato de potássio ou o carbonato de sódio. Outras bases também podem ser usadas, como o bicarbonato ou hidróxido de sódio ou potássio. Este tratamento neutraliza a acidez natural do cacau, conferindo-lhe um sabor mais suave e menos adstringente. Este processo também vai aumentar o pH do cacau para valores entre 6.8 e 7.5 e vai escurecer a sua cor, podendo variar entre um tom castanho avermelhado leve ou mais escuro. Modificando o tipo de agente alcalino, tornou-se possível o ajuste da cor do pó. Quando se usa o cacau em pó alcalino nos produtos de pastelaria, este tem a vantagem de conferir uma cor escura e um sabor suave. No entanto se o produto final for muito alcalino, a massa poderá não cozer (America, 2009; Beckett, 2004; Corriher, 2008; Figoni, 2008; Minifie, 1989).

2.2.3.4 Composição do Cacau

Existem três variedades de cacau: o Criollo, o Forastero e o Trinitário. O Forastero, com favas de cacau arroxeadas, representa o tipo mais económico, fazendo mais de 80% da produção mundial. A cor roxa das favas de cacau forastero é atribuída à cianidina (M. Iwu, 2017; Mazza & Miniati, 1993; Nacz & Shahidi, 2004).

O cacau contém grandes quantidades de proteínas e hidratos de carbono (amido, cellulose, dextrinas) e pequenas quantidades de ácidos, vitaminas e compostos polifenólicos (Figoni, 2008). Estes compostos polifenólicos estão directamente relacionados com as características sensoriais do cacau e estão associados a benefícios para a saúde humana (Li et al., 2014; Oracz, Nebesny, & Zyzelewicz, 2015). Na produção de cacau em pó, tanto o processo de fermentação como o processo de torrefacção causam alterações nas quantidades dos compostos polifenólicos originais do cacau cru, levando às mudanças de sabor e cor essenciais para se obter um produto de qualidade. Controlando o pH, a humidade e as temperaturas e tempos, é possível produzir uma larga variedade de cores (Beckett, 2004; Nacz & Shahidi, 2004).

Entre os compostos polifenólicos representados no cacau encontramos os flavonoídes, nomeadamente procianidinas (58%), flavano-3-ols (37%; tais como a (-)-epicatequina e a (+)-catequina) e antocianinas (4%) (Giltekin-Özgüven, Berktaş, & Özçelik, 2016; Nacz & Shahidi, 2004). As antocianinas aparecem como glicosídeos de cianidina: cianidina-3-galactosídeo (maior concentração) e cianidina-3-arabinosídeo (Markakis, 1982). Estes pigmentos são responsáveis pela cor característica arroxeadada ou avermelhada do cacau não fermentado e, juntamente com o grupo dos flavan-3-ol, responsáveis pelo gosto adstringente (De Taeye, Eyamo Evina, Caullet, Niemenak, & Collin, 2016; Oracz et al., 2015; Serra Bonvehí & Ventura Coll, 1997). A casca do cacau contém um pigmento, um glicosídeo poliflavone, resistente à luz e ao calor, altamente estável a pH entre 3 e 11 e que aparenta ser um promissor corante natural vermelho (M. Iwu, 2017; Mazza & Miniati, 1993).

2.2.3.4.1 Caracterização das Antocianinas

A pigmentação dos flavonóides é baseada em três componentes: as estruturas primárias das moléculas; as estruturas secundárias conferidas por mudanças de pH e outros efeitos; e as estruturas terciárias derivadas de co-pigmentação (Davies, 2004). As antocianinas são os pigmentos presentes nos vacúolos de plantas, responsáveis pela maioria das colorações azuis, violeta e vermelho das flores e frutos e são utilizadas, pela indústria alimentar, como corantes naturais, em substituição dos sintéticos. Apresentam diferentes formas estruturais consoante o meio onde se encontram, as quais assumem diferentes colorações. Estas formas podem sofrer interferências de diversos factores, como a temperatura, o pH, oxigénio, presença de enzimas e possíveis ligações com outras substâncias químicas, bem interferências provocadas por padrões de hidroxilação, metilação, glicosilação e acilação (Bordignon Jr., Francescato, Nienow, Calvete, & Reginatto, 2009; Markakis, 1982; Mazza & Miniati, 1993; McGee, 2004).

2.2.3.4.1.1 Estrutura Primária

As antocianidinas são as estruturas básicas das antocianinas, consistem num anel aromático ligado a um anel heterocíclico que contem oxigénio com uma ligação de carbono a um terceiro anel aromático. Quando as antocianidinas que estão na sua forma glicosídica (ligadas a um açúcar) passam a ser conhecidas como antocianinas (Castañeda-Ovando, Pacheco-Hernández, Páez-Hernández, Rodríguez, & Galán-Vidal, 2009; Skrede & Wrolstad, 2002). O nível de oxidação das antocianidinas, bem como a natureza e o número de substituintes origina a grande diversidade de cor (Cardoso, 2003; Davies, 2004).

As antocianinas são derivadas de seis formas básicas: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina. A diferença entre elas é o número de grupos hidroxilo num dos anéis. Um aumento dos grupos hidroxilo neste anel tem um efeito azul na cor do pigmento. Por exemplo, os derivados de pelargonidina têm pigmentação rosa e laranja, os derivados de cianidina têm pigmentação nos tons de magenta e os derivados de delphinidina têm pigmentação roxa e azul (Bennion, 1980; Cardoso, 2003; Davies, 2004; Grotewold, 2006). Só a cianidina está presente no cacau (Markakis, 1982).

A grande variação de antocianinas é devida ao número e posição dos grupos hidroxilo e metoxilo; à natureza e quantidade do açúcar presente, bem como a sua posição na molécula; e à extensão da acilação do açúcar, bem como a natureza do grupo acilo (Lacueva & Urpi Sarda, 2009). Os açúcares são muitas vezes monossacáridos: glucose, galactose, ramnose e arabinose. A natureza do açúcar não afecta a cor das antocianinas, mas pode afectar outras modificações (como a acilação). No entanto a posição do açúcar na molécula é importante para a cor (Davies, 2004; Mazza & Miniati, 1993).

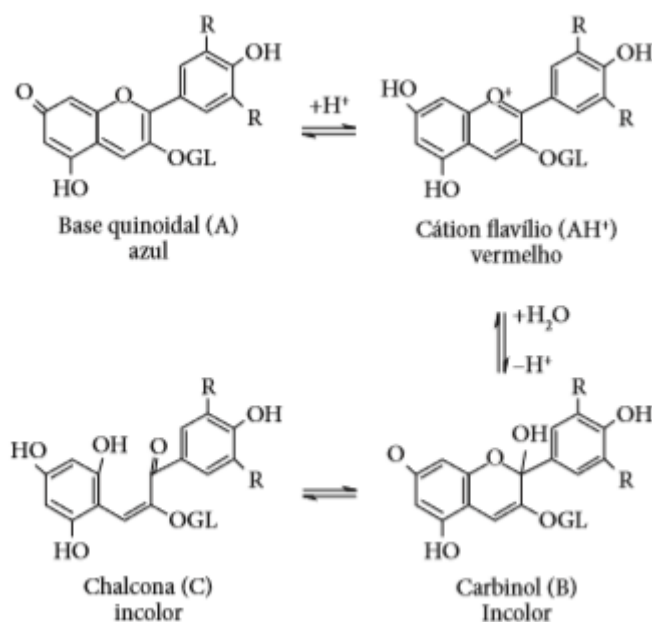


Figura 14: Estruturas Moleculares Encontradas em Solução Aquosa com Diferentes Valores de pH. Fonte: Bordignon Jr., C. L., Francescato, V., Nienow, A. A., Calvete, E., & Reginatto, F. H. (2009).

2.2.3.4.1.2 Efeitos do pH e Mecanismos de Estabilização da Cor

As antocianinas sofrem modificações na intensidade da cor a diferentes pH's. Estas modificações devem-se a complexos rearranjos das moléculas, que originam diferentes formas coloridas e incolores dependendo do pH envolvente. Em condições ácidas, as antocianinas tendem para o vermelho; em pH neutro são geralmente incolores ou violeta claro; em condições alcalinas tendem para o azul. Só a pH ácido é que a antocianina está numa forma corada estável, que é o catião flavílio, este tem coloração vermelha ou laranja. A pH mais elevado, existem outras formas coloridas, muitas vezes instáveis. A pH perto do neutro, são formadas as bases quinóidais neutras, usualmente arroxeadas. Seguidas da formação de formas quinóidais aniônicas a pH alcalino, estas são azuis. A pH entre 4 e 6, quatro formas estruturais das antocianinas co-existem: catião flavílio, base quinoidal, base carbinol e chalcone (Castañeda-Ovando et al., 2009; Davies, 2004; Iacobucci & Sweeny, 1983; Markakis, 1982; Mazza & Miniati, 1993; Onslow, 1925).

O catião flavílio de antocianinas naturais comporta-se como um ácido fraco, enquanto que a base quinóidal neutra é ao mesmo tempo, um ácido fraco e uma base fraca (Mazza & Miniati, 1993).

Em pH ligeiramente ácido (entre 3 a 6), as antocianinas existem nas suas formas incolores. O catião flavílio é facilmente hidratado nestas condições e é convertido na forma incolor chalcone. Nos vacúolos, as condições são levemente ácidas, o que tornava a sua cor impossível de explicar apenas com estes equilíbrios. Por esta razão as antocianinas têm diferentes

mecanismos de estabilização de cor, muitos deles baseados na formação de estruturas terciárias através da co-pigmentação (Davies, 2004).

A estrutura quinóidal é estabilizada pela formação de sais com ácidos ou com sais neutros, como o cloreto de sódio. Um pigmento que tenha a estrutura quinóidal fortemente estabilizada vai ter uma estabilidade maior em relação à cor. A presença de um substituto C-4 como o grupo metil é provavelmente a causa desta estabilidade. Um pigmento deste tipo apresenta estabilidade de cor em soluções ligeiramente ácidas ou neutras (Markakis, 1982; Mazza & Miniati, 1993; Onslow, 1925).

Apesar da acilação de flavonóides já ser conhecida há bastante tempo, não é tão bem compreendida como as outras modificações. A acilação consiste na adição de um ácido (grupo acilo) aos resíduos glicosídicos das antocianinas, podendo existir um ou vários grupos acilo. Um grupo acilo pode ser um ácido aromático ou um ácido alifático (como por exemplo o ácido acético). É uma modificação importante porque tem um papel na formação de estruturas terciárias que estabilizam os pigmentos (Davies, 2004; Mazza & Miniati, 1993; Skrede & Wrolstad, 2002). Por exemplo, a acilação de antocianinas com ácido caféico é comum em frutas e é responsável por melhorar a estabilidade da cor (Catherine A. Rice-Evans, 2003). Foi sugerido que os grupos acilo competem para a adição de água nas posições 2 e 4, o que pode servir para estabilizar o cromóforo da antocianina (Grotewold, 2006).

2.2.3.4.1.3 *Co-pigmentação*

Apesar da co-pigmentação ter sido estudada maioritariamente em flores, os resultados desses estudos são também aplicáveis aos alimentos (Markakis, 1982).

A co-pigmentação é um fenómeno no qual pigmentos e outros compostos orgânicos incolores, ou iões metálicos, formam associações moleculares complexas, originando uma mudança ou um aumento na intensidade da cor. A cor advém da deslocalização de π -electrões na estrutura aromática. Os co-pigmentos são ricos em π -electrões, que são capazes de se associar com os iões flavílio. O papel principal do co-pigmento é controlar a reacção entre o catião flavílico e as pseudobases incolores carbinol. Os co-pigmentos podem ser flavenoídes, alcalóides, aminoácidos, ácidos orgânicos, nucleótidos, polissacáridos, metais ou outras antocianinas (Castañeda-Ovando et al., 2009; De Taeye et al., 2016; Mazza & Miniati, 1993; Skrede & Wrolstad, 2002). A intensidade da co-pigmentação é dependente do tipo e da concentração da antocianina, do tipo e concentração do co-pigmento, do pH e da temperatura (Davies, 2004; Mazza & Miniati, 1993).

A co-pigmentação estabiliza a cor das antocianinas e a cor exibida por muitas flores e frutos está associada a este fenómeno, ou seja, as antocianinas guardadas nos seus vacúolos a pH próximo da neutralidade estão complexadas com moléculas diversas, inter ou intramolecularmente (Markakis, 1982).

Na co-pigmentação intermolecular, a estrutura terciária é formada pelo empilhamento vertical de moléculas, com a molécula da antocianina entre duas moléculas do co-pigmento.

Antocianinas que têm um grupo acila formam uma co-pigmentação intermolecular mais estável (Davies, 2004). Está relacionada com uma mudança na absorvência máxima do pigmento para comprimentos de onda mais elevados, dando origem a cores arroxeadas e azuis (Mazza & Miniati, 1993).

A co-pigmentação intramolecular é um mecanismo para estabilizar antocianinas mais complexas, como aquelas que são poliaciladas com ácidos aromáticos. A estrutura terciária é formada pelo núcleo da antocianina entre dois dos seus grupos acilo ou pelo núcleo da antocianina coberto por um único grupo acila (Davies, 2004; Mazza & Miniati, 1993).

Baseado em estudos recentes, o conceito de estruturas terciárias pode ser expandido para incluir complexos formados com ou interações entre pigmentos e proteínas (Davies, 2004).

2.2.3.4.1.4 Oxidação Enzimática

A cor pode ser modificada pelo aparecimento de compostos castanhos, que geralmente resultam de uma oxidação enzimática de compostos polifenólicos. A oxidação enzimática resulta de uma descompartimentação celular inicial. A formação de pigmentos amarelos e castanhos é controlada pelos níveis dos compostos fenólicos, pela presença de oxigénio e pela actividade da polifenoloxidase. A polifenoloxidase é uma enzima que catalisa a hidroxilação de monofenóis para o-difenóis e a sua oxidação a quinonas. Para além da oxidação enzimática, a auto-oxidação de ácidos fenólicos pode resultar em pigmentos castanhos. Está dependente do ambiente físico-químico e aumenta fortemente com o pH (Catherine A. Rice-Evans, 2003).

2.2.3.4.2 Procianidinas

As procianidinas também pertencem ao grupo dos 3-flavanóis e são polímeros constituídos por duas ou mais unidades monoméricas de catequinas ((+)-catequina e (-)epicatequina). As formas mais condensadas das procianidinas podem-se dividir em procianidinas oligoméricas cujo número de unidades monoméricas é igual ou inferior a seis, e procianidinas poliméricas com um número de unidades monoméricas superior. As procianidinas do cacau são polímeros de (-)-epicatequina (Porto, 2002; Tuckmantel & Kozikowski, 2008). A origem dos nomes procianidinas e prodelfinidinas resulta do facto destes compostos se decomporem por aquecimento em meio ácido, originando antocianidinas (nomeadamente cianidina e delfinidina, respectivamente), por ruptura das ligações entre as unidades monoméricas de acordo com o mecanismo descrito por Bate-Smith. A reacção de Bate-Smith consiste em efectuar a hidrólise ácida (a quente) de uma solução (incolor a amarelo pálido) de proantocianidinas e origina proantocianidinas monoméricas e as respectivas antocianinas (cor vermelha) (Faria, 2005; Fernandes, 2013; Nave, 2014; Póvoas, 2006).

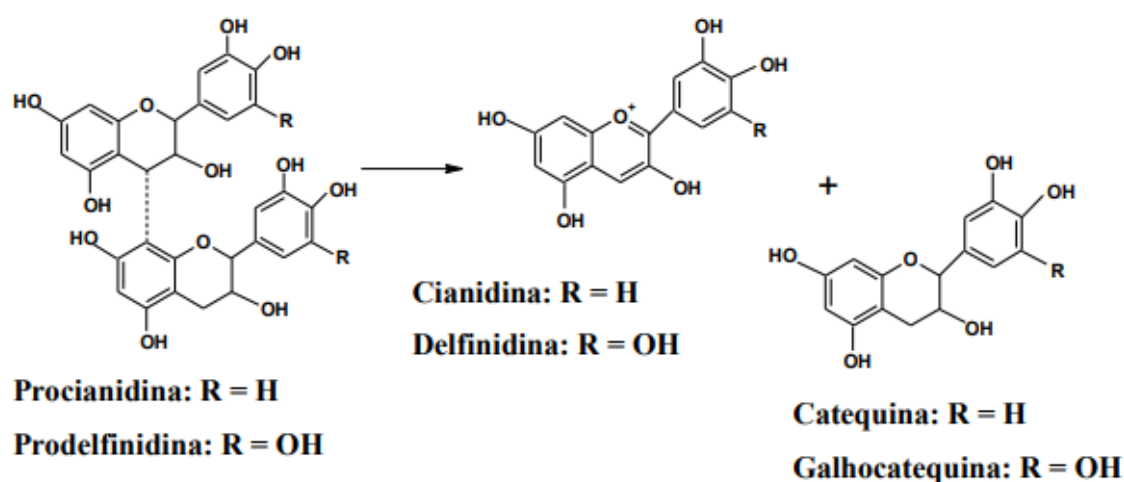


Figura 15: Reacção de Bate-Smith. Fonte: Fernandes (2013).

2.2.3.4.3 Influência do Processo de Alcalinização

As reacções químicas que ocorrem durante o processo de alcalinização do cacau em pó não são totalmente conhecidas, poucos estudos se tem focado nas relações entre as condições de alcalinização, a cor do cacau e o conteúdo polifenólico. As substâncias polifenólicas são modificadas resultando nas variações de cor do cacau que podem ser obtidas. Algum desarranjo proteico também ocorre. Tanto a quantidade como a natureza do agente alcalino têm um efeito marcante na cor do produto final (Li et al., 2014; Minifie, 1989).

O processo de alcalinização reduz de forma drástica os compostos polifenólicos presentes, altera a capacidade antioxidante e a cor do cacau (Giltekin-Özgüven et al., 2016). Durante a alcalinização, polifenóis como as antocianinas, as procianidinas e as catequinas, são transformados em quinonas. As quinonas sofrem polimerização ou formam compostos castanhos insolúveis de elevado peso molecular através de ligações proteicas. Isto explica a redução do gosto adstringente e o baixo teor polifenólico do cacau em pó alcalinizado (Li et al., 2014).

Temperaturas elevadas e pH básico favorecem a formação de componentes de cor escura durante a alcalinização do cacau, devido à degradação de açúcares, reacções de *Maillard* e à polimerização de antocianinas. No cacau em pó alcalinizado, a quantidade antocioninas decresce com o aumento da concentração de álcalis, sugerindo que mais antocianinas são transformadas em polímeros castanhos (Li et al., 2014).

A natureza do agente alcalino, diferentes forças de álcalis e diferentes valores de pH, usado no tratamento vai determinar as características do produto resultante. Os iões também vão influenciar o processo: Na⁺ ou K⁺ vão provocar diferentes mudanças na estrutura das antocianinas. O cacau em pó exibe uma coloração mais escura, castanho-avermelhada, quando tratado com carbonato de potássio (K₂CO₃) (Li et al., 2014).

2.3 Avaliação da Cor

A cor e a aparência são as duas primeiras sensações percebidas, e é o que levará o consumidor a aceitar, rejeitar ou considerar o produto indiferente (Schmitz, 2014). A cor é um dos principais atributos dos alimentos. A cor de um alimento está ligada de uma forma directa ao aspecto e é muitas vezes um importante sinal da sua qualidade (Ramos, 2013).

O equipamento utilizado para a avaliação instrumental da cor dos alimentos é o colorímetro, que funciona acoplado a uma fonte de iluminação padrão, sendo os resultados avaliados pelo sistema de coordenadas L^* , a^* e b^* , também referido como sistema CIELAB. L^* mede a luminosidade, variando entre $L^* = 100\%$ (claro) e $L^* = 0\%$ (escuro). A componente a^* representa a diferença entre a cor verde ($-a^*$) e o vermelho ($+a^*$) e a componente b^* varia entre a cor azul ($-b^*$) e o amarelo ($+b^*$). Através do conjunto das três coordenadas (L^* , a^* e b^*) a cor é descrita objectivamente e pode ser localizada no espaço de cor. Tal procedimento é importante para fazer a comparação entre a cor de vários alimentos e para acompanhar a evolução da cor ao longo do tempo (MacDougall, 1988; Ramos, 2013; Schmitz, 2014; Trindade, 2015).

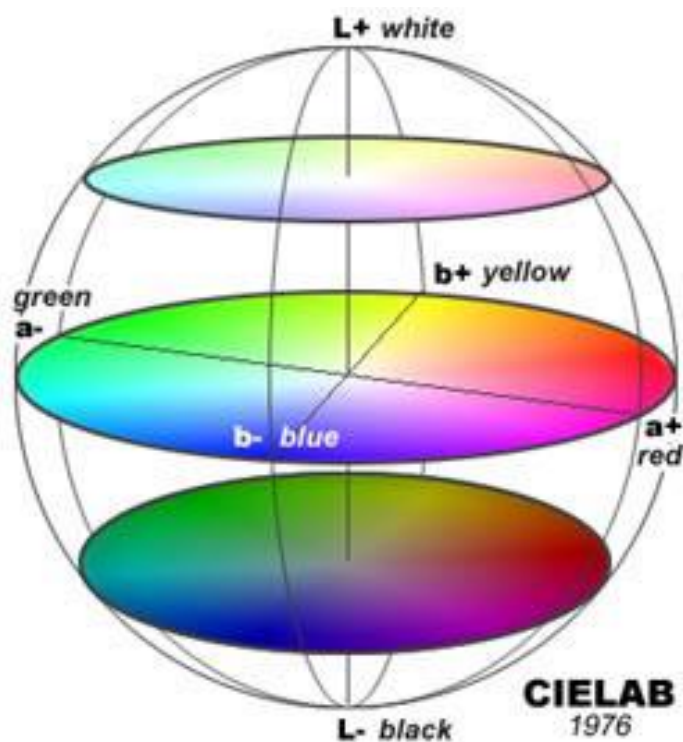


Figura 16: Espaço de Cor CIELAB. Fonte: Trindade (2015).

2.4 Humidade e Actividade da Água (a_w)

De uma forma geral, verifica-se que o conteúdo de humidade de um alimento é a água total que este contém. Contudo, dependendo da composição química do alimento existem zonas ou regiões microscópicas que não permitem a presença de água, consequentemente promovendo uma distribuição heterogénea através do produto (Botelho, 2012).

A actividade de água (a_w) estabelece o grau de interacção da água com os diferentes constituintes dos alimentos, expressa uma medida indirecta da água disponível (água livre) no alimento, e está directamente relacionada com o crescimento e a actividade metabólica dos microrganismos. Conhecer a actividade da água é prevenir o crescimento de bactérias no produto final. Existem valores de actividade da água a partir do qual as bactérias se desenvolvem, logo saber de antemão este valor pode dar indicações preciosas antes e ao longo da produção. Do ponto de vista microbiano, valores da $a_w > 0,75$ favorecem o crescimento de leveduras e bactérias (Botelho, 2012).

2.5 Análise das Propriedades de Textura

A textura é o comportamento mecânico dos alimentos medido por meios sensoriais (fisiológicos e psicológicos) ou por meios físicos (aparelhos) (Parker, 2003). Se a textura do alimento não é a esperada pelo consumidor, torna-se um factor de crítica e rejeição (Bourne, 2002; Fellows, 2006). A textura é uma propriedade que reflecte um conjunto de outras propriedades e atributos. Trata-se de um dos aspectos sensoriais mais importantes dos alimentos sólidos e pode ser definida como sendo as características estruturais do alimento e como são percebidas pelos nossos sentidos. Pode ainda ser definida como o grupo de características físicas que são sentidas pelo tacto, e descritas de acordo com a deformação, desintegração e escoamento do alimento sob uma força, medidas objectivamente pelas funções de massa, tempo e distância. Como a textura é definida por um grupo de sensações e propriedades físicas, é preferível que este conceito seja definido como “propriedades texturais”, cuja percepção pode ser afectada por factores químicos, psicológicos e culturais, sendo um atributo sensorial importante na avaliação da aceitabilidade do produto alimentar (Botelho, 2012; Bourne, 2002; Schmitz, 2014; Sousa, 2001). A norma ISO 5492 (International Organization for Standardization, 1992) define textura como “o conjunto de propriedades mecânicas, geométricas e de superfície de um produto, detectáveis pelos receptores mecânicos e tácteis e, eventualmente pelos receptores visuais e auditivos” (Rosenthal, 1999).

A avaliação sensorial de um alimento é um processo caro e difícil de afinar, por isso nos últimos anos têm sido desenvolvidos equipamentos e métodos de ensaios que permitam fazer a avaliação instrumental da textura sem recorrer aos painéis sensoriais treinados que têm custos muito elevados e cujos resultados nem sempre se conseguem correlacionar com outros parâmetros. As propriedades sensoriais de um determinado produto podem ser traduzidas em termos de propriedades físicas, macroscópicas, e mensuráveis instrumentalmente e que são, por outras palavras, uma expressão da estrutura do alimento que resulta da composição química do mesmo. A dureza ou firmeza é uma propriedade física do material que pode ser utilizada na avaliação instrumental da textura dos alimentos. Normalmente associa-se o termo dureza a materiais predominantemente sólidos (como os frutos) e o termo firmeza a alimentos menos firmes (como o pão). Ambas as características apresentam o mesmo significado físico (Botelho, 2012; J. G. Brennan, 1988; Oliveira, 2017; Sousa, 2001).

Existem diversos tipos de testes que podem ser usados para avaliar a textura dos alimentos. Estes testes podem ser divididos por três tipos de ensaios físicos – fundamentais, empíricos e imitativos (Bourne, 2002; J. G. Brennan, 1988; Ramos, 2013; Sousa, 2001). Entre os testes imitativos, cujo objectivo é imitar a mastigação humana, destaca-se a análise de perfil de textura (TPA – *Texture Analysis Profile*) (Rosenthal, 1999).

O texturómetro é o equipamento mais utilizado e mais eficaz para a determinação dos parâmetros de textura dos alimentos. Este equipamento é formado por um dinamómetro que fornece energia mecânica a taxa constante. O teste de TPA consiste em comprimir, ou fraturar, uma amostra de um dado alimento, duas vezes (*two-bites test*), imitando a mastigação humana

conduzida pela ação do maxilar. O resultado do teste é dado através de curvas de força-tempo que resultam da análise dos diversos parâmetros de textura, que se correlacionam com a avaliação sensorial dos mesmos. A partir da curva são obtidos vários parâmetros de textura como a dureza ou firmeza, a adesividade, a elasticidade e a coesividade. No ensaio das duas dentadas (*two bite*), a sonda actua duas vezes sobre a amostra em penetrometria ou em compressão, com um tempo de espera entre elas. O objectivo é reproduzir a acção de duas dentadas (incisivos ou molares), dando certo tempo de recuperação ao material. A sonda utilizada no teste pode assumir uma geometria cilíndrica ou plana. O seu diâmetro deve ser igual ou maior que o diâmetro da amostra. Se a amostra tiver uma superfície maior do que o diâmetro da sonda, então o princípio aplicado é de penetração em vez de compressão. Num teste de penetração (ou punção), a sonda penetra a amostra, a uma profundidade de penetração constante. Neste trabalho, optou-se pelo teste das duas dentadas em modo de penetração para avaliar a textura dos bolos (Botelho, 2012; Bourne, 2002; Oliveira, 2017; Ramos, 2013; Sousa, 2001).

Tabela 2: Parâmetros de Análise de Textura. Fontes: Botelho (2012), Oliveira (2017) e Sousa (2001).

Parâmetro Textural	Unidade	Descrição
Firmeza ou Dureza	Newtons (N)	Força máxima registada no primeiro, ou seja, a força máxima quando o material se rompe ou quando a amostra é achatada e deformada.
Adesividade	Newton por segundo (N.s)	Trabalho necessário para remover a sonda do material; é dada pela área negativa do gráfico.
Coesividade	Adimensional	Obtida dividindo o trabalho realizado na deformação durante o 2º ciclo e o trabalho realizado durante o 1º ciclo. Amostras que são muito coesas terão valores elevados e serão percebidas como rígidas e difíceis de mastigar.
Elasticidade	Porcentagem	Medida da extensão da amostra que foi deformada pela compressão inicial, ou seja, a largura do pico 2 dividido pela largura do pico 1 e, se a amostra retornasse à sua altura original, a elasticidade seria de 100%.

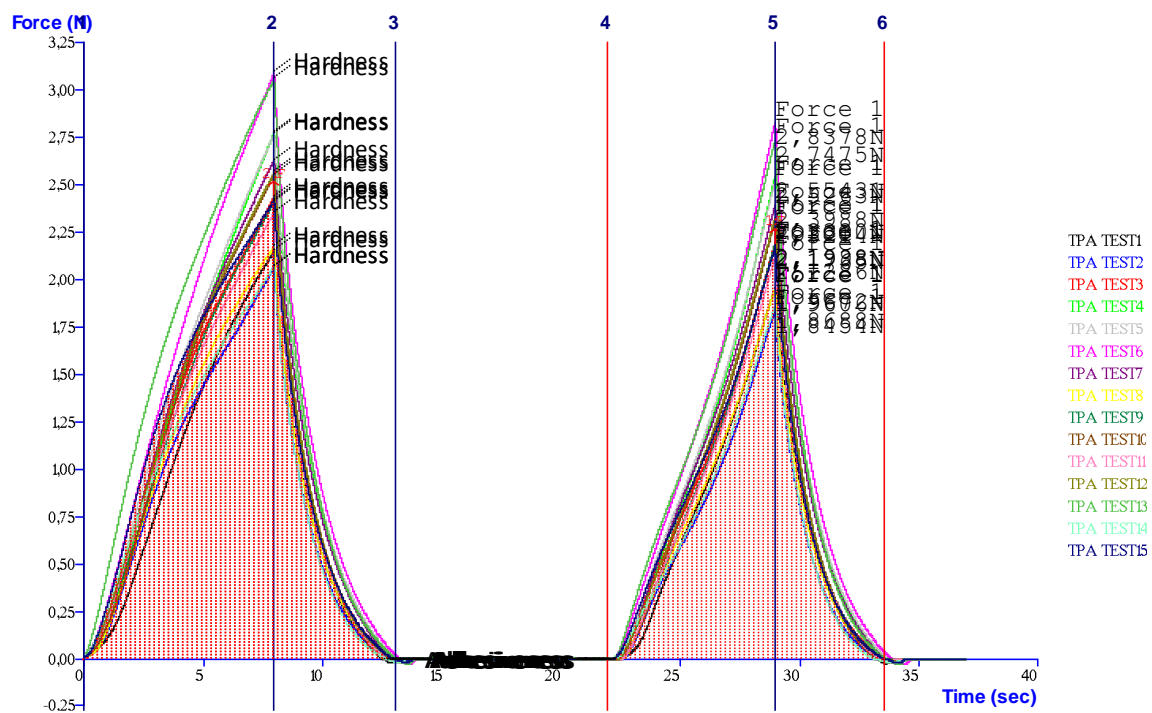


Figura 17: Exemplo de um Texturograma obtido na análise de textura do bolo *Red Velvet*.

2.6 Análise Sensorial

Cada alimento possui propriedades características definidas como atributos sensoriais. Os aspectos qualitativos de um produto incluem aparência, aroma, textura, sabor e pós-sabor. As técnicas de análise sensorial permitem determinar, analisar e interpretar as reacções relativas às características de alimentos e materiais, nomeadamente como são percebidas pelos órgãos da visão, olfacto, gosto, tacto e audição, e a sua relação com atributos como aparência, aroma, sabor e textura (Schmitz, 2014).

Os testes realizados na avaliação sensorial podem ser divididos em dois grupos: descritivos e hedónicos. Os testes descritivos fornecem dados objectivos sobre as propriedades sensoriais dos produtos e são realizados por provadores treinados. Os testes hedónicos são conhecidos como testes afectivos ou de consumo. Os testes afectivos têm como objectivo obter a opinião subjectiva do provador, que avalia a aceitabilidade de um produto ou se o prefere em relação a outro. Têm como finalidade a avaliação da aceitação de novos produtos no mercado, bem como definir o mercado consumidor potencial, levando em consideração critérios como sexo, idade, nível sócio – económico, região geográfica, etnias. Testes afectivos são simples de serem aplicados e não exigem treino para os provadores. Estes testes usam uma escala para medir o nível de aceitabilidade dos produtos que relatam as percepções agradáveis e desagradáveis provocados pelos mesmos (Oliveira, 2017; Schmitz, 2014).

2.7 Objectivos

Tendo em conta a pesquisa bibliográfica efectuada e a escassez de dados científicos sobre as características cromáticas do Bolo Velvet, decidiu-se, como objectivos gerais da tese, estudar a cor, o pH, o a_w , a humidade e a textura e a estrutura dos bolos, bem como as funções e interações dos ingredientes principais. Como objectivos mais específicos, queria-se comprovar a existência e procurar os factores responsáveis pela cor vermelha do bolo americano *Red Velvet* (sem recurso a corantes); perceber, por exemplo, o modo como a cor é influenciada pelo pH da massa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Os materiais usados na experiência prática encontram-se listados na seguinte tabela.

Tabela 3: Produtos Utilizados na Experiência Prática.

Produto	Marca
Ovo líquido	Dovo
Açúcar Branco Fino	Sidul
Iogurte Natural	Continente
Vinagre Vinho Branco	Continente
Aroma de Baunilha	Vahiné
Farinha Tipo 55	Nacional
Fermento Biológico	Nat-Ali
Bicarbonato de Sódio	Margão
Cacau em pó natural	Hershey's
Cacau em pó alcalinizado	Cadbury's Bournville
Manteiga sem sal	Primor
Sal Grosso	Continente
Spray para Untar	Espiga

3.2 Métodos

Após uma pré-selecção de quatro fórmulas diferentes do bolo *Red Velvet*, foram realizados alguns testes para averiguar as melhores receitas. Através desta pré-selecção, formulou-se duas fórmulas tipo, as quais foram submetidas a diferentes tipos de testes com o propósito de encontrar a fórmula mais adequada para usar no trabalho. Com a fórmula tipo seleccionada, foram realizados novamente o mesmo conjunto de teste para escolher o melhor método de incorporação de ingredientes. Com a fórmula e o método seleccionados, variou-se o cacau e os levedantes químicos usados, para averiguar a existência de uma reacção química que origine a cor do bolo.

3.2.1 Planeamento Experimental

3.2.1.1 Pré-selecção de Fórmulas do Bolo Red Velvet

O objectivo desta pré-selecção era encontrar uma fórmula adequada do bolo *Red Velvet*. Uma receita equilibrada em sabor e aroma, de textura agradável e com uma cor adequada que permita a percepção das mudanças provocadas pela reacção química.

Foi realizada uma análise sensorial, usando um teste hedónico, de amostras das quatro receitas produzidas, com um painel de prova de 10 consumidores (ficha de análise sensorial em anexo). Analisou-se as quatro amostras quanto à cor, cheiro, sabor, textura e apreciação global, usando valores descritivos com a seguinte correspondência: muito agradável – 6; agradável – 5; ligeiramente agradável – 4; ligeiramente desagradável – 3; desagradável – 2; muito desagradável – 1.

A tabela seguinte apresenta as quatro receitas de fontes diferentes que foram submetidas a análise sensorial:

Tabela 4: As Quatro Receitas Submetidas a Análise Sensorial.

Receita <i>Red Velvet</i>	Receita 1 Fonte: workshop Rita Nascimento	Receita 2 Fonte: http://benstarr.com	Receita 3 Fonte: experiência de trabalho	Receita 4 Fonte: livro Shelly Kaldunski
Ingrediente	Quantidade (g)	Quantidade (g)	Quantidade (g)	Quantidade (g)
Ovo	50	50	50	50
Açúcar	150	150	150	185
Iogurte	50	110	125	125
Vinagre	2,5	2,5	2,5	2,5
Extracto Baunilha	2,5	2,5	2,5	2,5
Farinha	150	115	135	155
Bicarbonato de Sódio	2,5	2,5	2,5	2,5
Cacau em Pó	3	20	6	12
Sal	2,5	2,5	2,5	2,5
Manteiga	75	55	55	60

3.2.1.2 *Estabilização da Fórmula Final do Bolo Red Velvet*

Da pré-selecção das fórmulas do bolo, obteve-se duas formulações tipo. Estas formulações foram submetidas a diferentes tipos de testes para averiguar a fórmula mais adequada ao trabalho prático. Nestes testes utilizou-se o cacau a pH 5,25 e o bicarbonato de sódio.

3.2.1.3 *Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes*

Com a fórmula do bolo *Red Velvet* escolhida, procedeu-se à escolha do método de mistura. Testaram-se dois métodos: *Creaming* e *Foaming*. Foram utilizados os mesmos testes que na escolha da fórmula: determinação do pH, determinação da cor, teste de avaliação de textura (TPA crosta e miolo), determinação do a_w e determinação da humidade. Efectuou-se uma análise estatística para determinar se existia diferenças significativas entre as amostras.

3.2.1.4 *Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico no Bolo Red Velvet*

Com a fórmula do bolo *Red Velvet* estabilizada e com o método de mistura escolhido, procedeu-se a uma série de testes, variando o pH do cacau (5,25 e 6,8) e variando o levedante químico (bicarbonato de sódio e fermento com ácido tartárico), de forma a averiguar a existência de uma reacção química que leve à cor do bolo. Foram utilizados os mesmos testes que na escolha da fórmula e do método: determinação do pH, determinação da cor, teste de avaliação de textura (TPA crosta e miolo), determinação do a_w e determinação da humidade. Efectuaram-se análises estatísticas para determinar se existia diferenças significativas entre as várias amostras.

3.2.2 **Testes Práticos**

3.2.2.1 *Determinação do pH*

Determinou-se o pH da massa e do bolo através do eléctrodo de sólidos. Efectuaram-se dez medições para cada amostra.



Figura 18: Eléctrodo de Sólidos: Basic 20 pH-Meter.

3.2.2.2 *Determinação da Cor*

Determinou-se a cor da massa e do bolo através do uso do colorímetro CR-400. Efectuaram-se dez medições para cada amostra.



Figura 19: Colorímetro: *Chroma Meter* CR-400.

3.2.2.3 *Avaliação das Propriedades de Textura*

Procedeu-se à avaliação das propriedades de textura através de um teste TPA de penetração com o texturómetro. Realizou-se um TPA para a crosta e outro para o miolo do bolo.

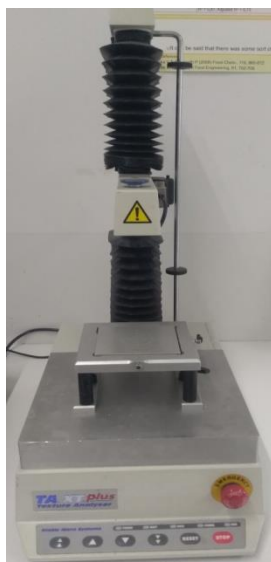


Figura 20: Texturómetro: TA.XT.*plus* Texture Analyser.

3.2.2.3.1 TPA da Crosta

Utilizando uma sonda de 10 mm de diâmetro, realizou-se um TPA de penetração na crosta do bolo, no qual a sonda penetra 4mm na amostra. Efectuaram-se vinte medições para cada amostra.

3.2.2.3.2 TPA do Miolo

Utilizando uma sonda de 20 mm de diâmetro, realizou-se um TPA de penetração no miolo do bolo, no qual a sonda penetra 8mm na amostra. Cortaram-se cinco fatias do bolo com cerca de 2cm de largura e em cada fatia fez-se três medições, num total de quinze medições por amostra.

3.2.2.4 Determinação da Actividade da Água (a_w)

Determinou-se a actividade da água (a_w) do bolo, efectuando-se dez medições por amostra. Utilizou-se o equipamento Hygrolab, Rotronic, sendo realizadas a temperatura constante ($20,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$).



Figura 21: Equipamento de Medição da Actividade da Água: HygroLab, Rotronic (esquerda). Sonda, Rotronic (centro). Banho de Regulação de Temperatura, Brabender electronic T150 (direita).

3.2.2.5 Determinação da Humidade

Determinou-se a humidade do bolo recorrendo a uma estufa, a 105°C. Realizaram-se três medições por amostra. Mediu-se o peso inicial em cada uma, deixou-se as mostras na estufa e efectuaram-se medições de meia em meia hora até o peso estabilizar, utilizando um exsicador para prevenir ganho de humidade na amostra. Entre o peso inicial e o peso final, obteve-se uma percentagem de humidade da amostra.



Figura 22: Estufa, Binder (esquerda). Exsicador (direita).

3.2.2.6 Análise Estatística

Procedeu-se a uma análise estatística utilizando o software Statistica 10.0, considerando-se em todos os casos um nível de significância de 5%, de forma a determinar se existem diferenças significativas entre as amostras. Analisou-se os dados das amostragens do pH, da cor, do aW e dos dados obtidos no TPA: firmeza, adesividade, coesividade e elasticidade. Efectuou-se um teste de Levene para determinar a homocedasticidade das amostras. Se as amostras forem homogéneas na variância, realiza-se o teste t para amostras independentes. Se H_0 for rejeitada no teste de Levene, realiza-se o teste não paramétrico Mann-Whitney.

Tanto no teste t como no teste de Mann-Whitney, se o p-value for menor que 0,05, rejeita-se H_0 , o que significa que existem diferenças significativas entre as amostras. Se o p-value for maior que 0,05, não existem diferenças significativas entre as amostras. Os resultados de todas as análises estatísticas realizadas encontram-se em anexo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados têm por base os métodos previamente descritos.

4.1 Pré-selecção de Fórmulas do Bolo *Red Velvet*

Os resultados da análise sensorial das amostras das quatro receitas produzidas são apresentados no seguinte gráfico:

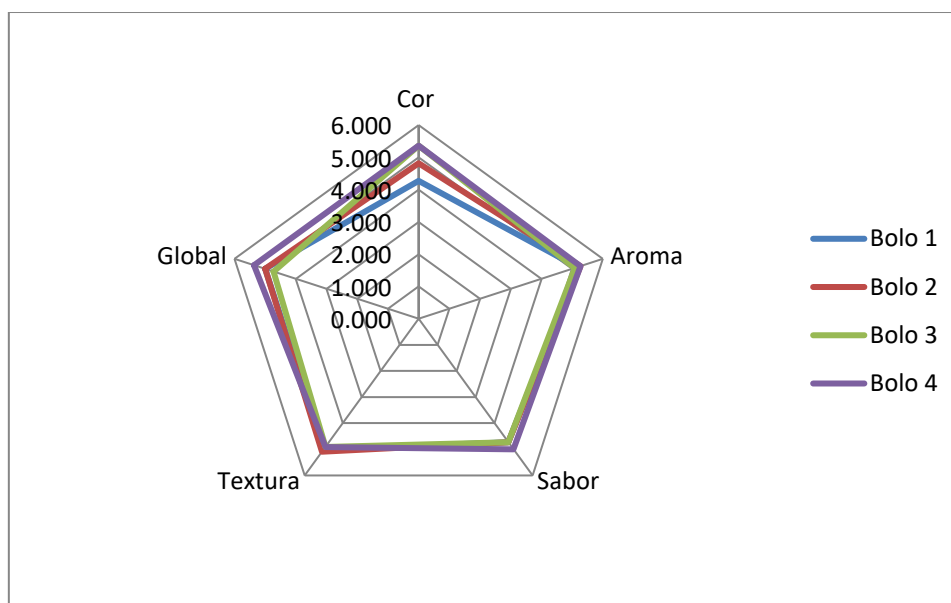


Figura 23: Gráfico para Comparação dos Resultados da Análise Sensorial.

No parâmetro da cor, os bolo 3 e 4 obtiveram os melhores resultados, e o bolo 1 obteve o pior resultado. No parâmetro do aroma, os bolos 2 e 4 obtiveram os melhores resultados, e o bolo 1 obteve o pior resultado. No parâmetro do sabor, os bolo 4 obteve o melhor resultado. No parâmetro da textura o bolo 2 obteve o melhor resultado, os bolos 3 e 4 obtiveram os piores resultados. Na avaliação global o bolo 4 foi o que se destacou mais.

Estes resultados levam a inferir que em termos de quantidade de cacau na receita (ingrediente que mais influencia a cor) as receitas 3 e 4 foram as melhores. Nestes bolos já foi possível observar tons avermelhados. O parâmetro do aroma leva à conclusão de que mais quantidade de cacau equivale a um melhor aroma.

No sabor, pretendo encontrar um equilíbrio entre a manteiga, o açúcar, o cacau, o iogurte e o aroma de baunilha. Os resultados mostram que a receita 4 foi a melhor avaliada em termos de sabor, no entanto as outras estão perto deste resultado e são avaliações equivalentes.

A textura é um parâmetro de difícil interpretação. Outros factores vão influenciar a textura do bolo para além dos ingredientes, como a temperatura do forno, tempo de cozedura, e tempo de

prateleira. A receita 2 obteve os melhores resultados, o que me leva a inferir que os ingredientes estão em proporções equilibradas. A receita 4 tem uma quantidade maior de açúcar, isto afecta a textura pois o açúcar em excesso absorve muita humidade e torna o bolo seco. Esta receita também tem maior quantidade de farinha, o que poderá significar uma estrutura mais densa. A receita 3 estará entre a 2 e a 4, tem uma boa quantidade de açúcar, mas mais farinha que a 2.

As duas formulações tipo obtidas a partir desta selecção inicial têm como base as receitas que obtiveram os melhores resultados: 2, 3 e 4.

4.2 Estabilização da Fórmula Final do Bolo *Red Velvet*

As duas formulações tipo, XT6 e XM8, obtidas através da pré-selecção foram submetidas a vários testes. As formulações são apresentadas na seguinte tabela:

Tabela 5: Formulações Tipo: XT6 e XM8, Obtidas da Pré-selecção das Fórmulas do Bolo.

Ingredientes	Fórmula XT6 (g)	%XT6	Fórmula XM8 (g)	%XM8
Manteiga	40	10,3	50	11,3
Açúcar	112	28,8	125	28,3
Ovo	40	10,3	50	11,3
Iogurte	85	21,8	100	22,7
Vinagre	1,5	0,4	2,5	0,6
Baunilha	1,5	0,4	2	0,5
Farinha	100,0	25,7	100	22,7
Cacau	6	1,5	7,5	1,7
Bicarbonato	2	0,5	2,5	0,6
Sal	1,5	0,4	2	0,5
Total (g)	389,5	100,0	441,0	100,0

A tabela seguinte mostra os resultados da estabilização da fórmula final para as determinações de pH, cor, a_w e humidade:

Tabela 6: Resultados da Estabilização da Fórmula Final para as Determinações de pH, Cor, a_w e Humidade.

Formulação	pH Massa	pH Bolo	Cor Massa			Cor Bolo			a_w	Humidade
			L	a*	b*	L	a*	b*		
XT6	6,4	8,2	37,4	9,6	11,1	22,6	9,1	7,9	0,898	33%
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,09*	0,28*	1,70*	0,53*	0,61*	1,03	0,54*	0,53*	0,01	
XM8	6,9	8,5	43,5	13,1	18,9	22,0	13,7	13,1	0,896	33,5%
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,11*	0,11*	2,46*	0,59*	1,09*	0,87	0,51*	0,95*	0,01	

*Resultados estatisticamente diferentes para as duas fórmulas (XT6 e XM8)

Tanto o pH da massa como o do bolo apresentaram diferenças significativas a nível estatístico, sendo o pH da fórmula XM8 ligeiramente superior. Isto poderá ser explicado pelo facto desta formulação ter uma quantidade de bicarbonato de sódio ligeiramente maior.

Na cor da massa, houve diferenças significativas, a nível estatístico, nos três parâmetros da cor. A formulação XM8 apresenta os valores mais elevados, i.e., a cor é mais clara, está mais perto do vermelho e é mais intensa. Na cor do bolo não houve diferenças significativas, a nível estatístico, ao nível da luminosidade L. Houve diferenças significativas nos parâmetros a^* e b^* . A formulação XM8 apresenta os valores mais elevados, sendo visivelmente mais vermelha.

Os resultados ao nível da cor poderão ser explicados pelo facto desta receita ter maior quantidade de cacau e de elementos que inferem com o pH: o iogurte e o vinagre que diminuem o pH e o bicarbonato de sódio que o aumenta. É interessante verificar que uma formulação menos acídica, leva a um bolo mais avermelhado.

Os valores de a_w das duas fórmulas não são significativamente diferentes, o que indica que as variações nas quantidades dos ingredientes não influenciam muito a quantidade de água livre, disponível para o crescimento microbiano.

A fórmula XM8 apresentou uma percentagem relativa de humidade ligeiramente superior, o que pode ser explicado pelo facto desta fórmula conter uma maior quantidade de ingredientes que adicionam água, como a manteiga, os ovos e o iogurte e menor quantidade de farinha (que absorve água).

A tabela seguinte mostra os resultados da avaliação de textura para a crosta:

Tabela 7: Resultados da Avaliação da Textura para a Crosta das Fórmulas XT6 e XM8.

Formulação	Parâmetros Texturais Crosta			
	Firmeza	Adesividade	Coesividade	Elasticidade
XT6	$1,27 \pm 0,2^*$	$0,0001 \pm 0,0003$	$0,79 \pm 0,04^*$	$93,3\% \pm 0,02^*$
XM8	$0,94 \pm 0,21^*$	$0,001 \pm 0,004$	$0,71 \pm 0,04^*$	$91,3\% \pm 0,02^*$

*Resultados estatisticamente diferentes para as duas fórmulas (XT6 e XM8)

Os valores de firmeza, coesividade e elasticidade são significativamente diferentes, a nível estatístico. A formulação XM8 apresenta os valores mais baixos

A tabela seguinte mostra os resultados da avaliação de textura para o miolo:

Tabela 8: Resultados da Avaliação da Textura para o Miolo das Fórmulas XT6 e XM8.

	Parâmetros Texturais Miolo			
Formulação	Firmeza	Adesividade	Coesividade	Elasticidade
XT6	2,87 ± 0,24*	0,007 ± 0,005	0,69 ± 0,02*	91,1% ± 0,01*
XM8	2,51 ± 0,32*	0,01 ± 0,004	0,68 ± 0,02*	90,4% ± 0,01*

*Resultados estatisticamente diferentes para as duas fórmulas (XT6 e XM8)

Os valores de firmeza, coesividade e elasticidade são significativamente diferentes, a nível estatístico, com os valores mais baixos a pertencerem novamente à formulação XM8.

Estes resultados, tanto da crosta como do miolo, poderão ser explicados pelo facto de a fórmula XM8 ter maiores quantidades de ingredientes que interferem com a formação de estrutura, amaciando a estrutura do bolo e tornando-o menos firme. São estes a manteiga, o açúcar, o sal, o vinagre e o bicarbonato de sódio. A fórmula XM8 tem também menos farinha, um importante ingrediente estrutural.

4.3 Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes

A formulação escolhida em 4.2 foi submetida a vários testes, utilizando dois métodos de mistura (*Foaming* e *Creaming*), cujos resultados são apresentados de seguida.

A tabela seguinte mostra os resultados da escolha do método de incorporação de ingredientes para as determinações de pH, cor, a_w e humidade:

Tabela 9: Resultados da Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes para as Determinações de pH, Cor, a_w e Humidade.

Método	pH Massa	pH Bolo	Cor Massa			Cor Bolo			a_w	Humidade
			L	a*	b*	L	a*	b*		
<i>Foaming</i>	6,9	8,5	43,5	13,1	18,9	22,0	13,8	13,1	0,896	33,5%
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,11*	0,11*	2,47	0,59*	1,09*	0,87*	0,51	0,95	0,01	
<i>Creaming</i>	7,1	10,2	43,7	12,2	17,7	23,7	14,1	13,0	0,892	35,2%
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,06*	0,16*	1,68	0,61*	0,85*	1,17*	0,82	1,08	0,01	

*Resultados estatisticamente diferentes para os dois métodos (*foaming* e *creaming*).

Houve diferenças significativas, a nível estatístico, tanto no pH da massa como no do bolo. O método *Creaming* apresenta os valores mais elevados. O modo como os ingredientes são incorporados pode afectar o pH da massa e consequentemente do bolo em si. Se no processo de mistura, o agente levedante for activado mais cedo, iniciando as reacções químicas fora do forno, o pH é alterado.

Na cor da massa, a luminosidade não é significativamente diferente, a nível estatístico. Houve diferenças significativas nos parâmetros a^* e b^* . O método *Foaming* apresentou os valores mais elevados. Na cor do bolo, a luminosidade é significativamente diferente, a nível estatístico. O método *Creaming* apresentou os valores mais elevados, ou seja, tem uma cor mais clara. Tanto os valores de a^* como de b^* não foram significativamente diferentes.

A menor luminosidade do bolo feito pelo método *Creaming* poderá ser explicada pelo facto de se bater a manteiga com o açúcar, o que aclara a manteiga: o creme formado é de uma cor mais clara (quase branca) do que a da manteiga. Ao nível da massa, as diferenças podem ser explicadas porque os métodos de incorporação dos ingredientes afectam a altura em que o agente levedante é activado, levando às reacções químicas responsáveis pela cor.

Os valores de a_w dos dois métodos não são significativamente diferentes, o que indica que as variações no modo de incorporação dos ingredientes não influenciam muito a quantidade de água livre, disponível para o crescimento microbiano.

O método *Creaming* apresentou uma percentagem relativa de humidade superior, o que pode ser explicado pela forma como os ingredientes são incorporados. No método *Foaming*, bate-se

os ovos com o açúcar. O açúcar vai retirar humidade aos ovos. No método *Creaming*, bate-se a manteiga com o açúcar e os ovos são adicionados depois, mantendo a sua humidade.

A tabela seguinte mostra os resultados da avaliação de textura para a crosta:

Tabela 10: Resultados da Avaliação da Textura para a Crosta dos Métodos *Foaming* e *Creaming*.

	Parâmetros Texturais Crosta			
Método	Firmeza	Adesividade	Coesividade	Elasticidade
<i>Foaming</i>	0,94 ± 0,21*	0,001±0,004	0,71 ± 0,04	91% ± 0,02
<i>Creaming</i>	2,1 ± 0,39*	0,0003±0,0006	0,72 ± 0,08	90% ± 0,04

*Resultados estatisticamente diferentes para os dois métodos (*foaming* e *creaming*).

Na crosta, a firmeza é significativamente diferente, a nível estatístico. O método *Creaming* tem o valor mais elevado. Tanto a coesividade como a elasticidade não foram significativamente diferentes.

A tabela seguinte mostra os resultados da avaliação de textura para o miolo:

Tabela 11: Resultados da Avaliação da Textura para o Miolo dos Métodos *Foaming* e *Creaming*.

	Parâmetros Texturais Miolo			
Método	Firmeza	Adesividade	Coesividade	Elasticidade
<i>Foaming</i>	2,5 ± 0,32*	0,01 ± 0,004*	0,68 ± 0,02*	90% ± 0,008
<i>Creaming</i>	2,1 ± 0,24*	0,02 ± 0,01*	0,65 ± 0,08*	90% ± 0,02

*Resultados estatisticamente diferentes para os dois métodos (*foaming* e *creaming*).

No miolo, os valores de firmeza, adesividade e coesividade foram significativamente diferentes, a nível estatístico. O método *Creaming* obteve valores mais baixos. Os valores para a elasticidade não foram significativamente diferentes.

Com o método *Creaming*, o miolo demorou mais tempo a cozer do que a crosta a formar-se. Quando a crosta já estava formada e dourada, a estrutura interna ainda estava líquida. Assim, para que o bolo tivesse tempo para formar uma estrutura interna, a crosta terá cozido mais. Isto explica, ao mesmo tempo, a maior firmeza da crosta e a menor firmeza do miolo quando comparado com o outro método.

4.4 Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico no Bolo *Red Velvet*

A formulação escolhida em 4.2, produzida com o método escolhido em 4.3, foi submetida a vários testes, variando o pH cacau (utilizou-se um cacau a pH 5,25 e outro a 6,8) e os levedantes químicos utilizados (bicarbonato de sódio e fermento com ácido tartárico). No último teste, aumentou-se a quantidade de bicarbonato de sódio utilizada de 5g para 7g, para verificar a existência de influências. Os resultados são apresentados de seguida. Em anexo encontram-se as imagens das fatias do bolo para cada formulação testada.

A tabela seguinte mostra os resultados da influência do pH do cacau e do levedante químico para as determinações de pH, cor, a_w e humidade:

Tabela 12: Resultados da Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico para as Determinações de pH, Cor, a_w e Humidade.

Formulação	pH Massa	pH Bolo	Cor Massa			Cor Bolo			a_w	Humidade
			L	a*	b*	L	a*	b*		
BS 5,25	6,9	8,5	43,5	13,1	18,9	22,0	13,8	13,1	0,896	33,5%
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,11 ^{a,c,e}	0,11 ^{a,e}	2,47 ^e	0,59 ^{c,e}	1,09 ^{c,e}	0,87 ^{a,c,e}	0,51 ^{a,e}	0,95 ^{a,c,e}	0,01 ^e	
BS 6,8	7,1	8,5	43,9	11,0	17,5	23,1	13,6	12,0	0,901	35,9%
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,04 ^{b,c}	0,09	1,54	0,69 ^{b,c}	1,69 ^c	1,01 ^{b,c}	0,43 ^b	0,71 ^{b,c}	0,01 ^b	
AT 5,25	5,4	5,3	43,5	13,3	19,4	35,9	14,2	21,3	0,909	35,9%
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,16 ^{a,d}	0,03 ^a	2,28	0,85 ^d	1,64	1,57 ^{a,d}	0,28 ^{a,d}	0,79 ^{a,d}	0,02 ^d	
AT 6,8	5,6	5,6	45,8	12,3	18,4	38,0	12,5	20,0	0,885	34,9%.
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,06 ^{b,d}	0,12	3,84	0,77 ^{b,d}	1,53	1,18 ^{b,d}	0,44 ^{b,d}	0,57 ^{b,d}	0,01 ^{b,d}	
BS 7g	7	8,7	40,9	11,6	16,8	20,4	11,9	9,5	0,888	35,09%.
	±	±	±	±	±	±	±	±	±	
	0,06 ^e	0,08 ^e	2,01 ^e	1,06 ^e	2,05 ^e	1,44 ^e	0,72 ^e	1 ^e	0,01 ^e	

a - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e bicarbonato de sódio vs cacau a 5,25 e fermento com ácido tartárico.

b - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 6,8 e bicarbonato de sódio vs cacau a 6,8 e fermento com ácido tartárico.

c - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e bicarbonato de sódio vs cacau a 6,8 e bicarbonato de sódio.

d - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e fermento com ácido tartárico vs cacau a 6,8 e fermento com ácido tartárico.

e - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e 5 g de bicarbonato de sódio vs cacau a 5,25 e 7g de bicarbonato de sódio.

A tabela seguinte mostra os resultados da avaliação de textura para a crosta:

Tabela 13: Resultados da Avaliação da Textura para a Crosta.

	Parâmetros Texturais Crosta			
Formulação	Firmeza	Adesividade	Coesividade	Elasticidade
BS 5,25	0,94 ± 0,21 ^{a,e}	0,001 ± 0,004	0,71 ± 0,04 ^{a,e}	91% ± 0,02
BS 6,8	0,97 ± 0,15 ^b	0,01 ± 0,02	0,72 ± 0,08	91% ± 0,03
AT 5,25	2,4 ± 0,26 ^{a,d}	0,0004±0,001	0,82 ± 0,06 ^{a,d}	93% ± 0,02 ^d
AT 6,8	1,9 ± 0,22 ^{b,d}	0,001 ± 0,004	0,74 ± 0,06 ^d	90% ± 0,02 ^d
BS 7g	1,2 ± 0,18 ^e	0,001 ± 0,001	0,65 ± 0,10 ^e	90% ± 0,04

a - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e bicarbonato de sódio vs cacau a 5,25 e fermento com ácido tartárico.

b - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 6,8 e bicarbonato de sódio vs cacau a 6,8 e fermento com ácido tartárico.

c - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e bicarbonato de sódio vs cacau a 6,8 e bicarbonato de sódio.

d - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e fermento com ácido tartárico vs cacau a 6,8 e fermento com ácido tartárico.

e - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e 5 g de bicarbonato de sódio vs cacau a 5,25 e 7g de bicarbonato de sódio.

A tabela seguinte mostra os resultados da avaliação de textura para o miolo:

Tabela 14: Resultados da Avaliação da Textura para o Miolo.

	Parâmetros Texturais Miolo			
Formulação	Firmeza	Adesividade	Coesividade	Elasticidade
BS 5,25	2,5 ± 0,32 ^{a,c,e}	0,01 ± 0,004	0,68 ± 0,02 ^a	90% ± 0,008 ^c
BS 6,8	2,2 ± 0,41 ^c	0,02 ± 0,03	0,69 ± 0,03	91% ± 0,01 ^c
AT 5,25	2,9 ± 0,47 ^a	0,01 ± 0,01 ^d	0,65 ± 0,04 ^a	90% ± 0,01
AT 6,8	3,2 ± 0,45	0,02 ± 0,02 ^d	0,63 ± 0,05	90% ± 0,01
BS 7g	2,1 ± 0,45 ^{b,e}	0,01 ± 0,03	0,68 ± 0,03 ^b	91% ± 0,01 ^b

- a - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e bicarbonato de sódio vs cacau a 5,25 e fermento com ácido tartárico.
- b - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 6,8 e bicarbonato de sódio vs cacau a 6,8 e fermento com ácido tartárico.
- c - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e bicarbonato de sódio vs cacau a 6,8 e bicarbonato de sódio.
- d - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e fermento com ácido tartárico vs cacau a 6,8 e fermento com ácido tartárico.
- e - Resultados estatisticamente diferentes para as formulações com cacau a 5,25 e 5 g de bicarbonato de sódio vs cacau a 5,25 e 7g de bicarbonato de sódio.

4.4.1 Discussão dos Resultados

4.4.1.1 Cacau a 5,25 e Bicarbonato de Sódio vs Cacau a 5,25 e Fermento com Ácido Tartárico

Tanto o pH da massa como o pH do bolo apresentaram diferenças significativas a nível estatístico. A formulação com o ácido tartárico apresentou os valores mais baixos de pH, tanto na massa como no bolo, ou seja, é mais ácida. Usando um fermento com o ácido tartárico, o bicarbonato de sódio presente no fermento reage todo com o ácido tartárico, não reagindo com os ingredientes da massa. Os ingredientes ácidos mantêm-se e acidificam a massa e o bolo. Na formulação que só continha o bicarbonato de sódio, este reagiu com os ingredientes acídicos, aumentando o pH da massa e do bolo.

Na cor da massa não houve diferenças significativas nos parâmetros da cor. Na cor do bolo, em todos os parâmetros, houve diferenças significativas a nível estatístico. A formulação com o ácido tartárico teve os parâmetros da cor mais elevados, originando um bolo mais claro e mais amarelado: o valor de b^* é quase o dobro, enquanto o de a^* é semelhante. Aqui, novamente, uma formulação mais ácida leva a um bolo menos avermelhado, mais a tender para o amarelo. Os valores de a_w das duas formulações não são significativamente diferentes, o que indica que as variações nos levedantes químicos não influenciam muito a quantidade de água livre, disponível para o crescimento microbiano.

Em relação à percentagem de humidade relativa, a formulação com o ácido tartárico teve um valor mais elevado. Isto poderá ser explicado pelo facto do bicarbonato de sódio não reagir com nenhum ingrediente, só com o ácido tartárico. Deixando intactos ingredientes que conferem humidade, como o vinagre ou o iogurte.

Na crosta, tanto a firmeza como a coesividade foram significativamente diferentes, a nível estatístico. A elasticidade não apresentou diferenças significativas. No miolo, novamente a firmeza e a coesividade foram estatisticamente diferentes, mas a adesividade e a elasticidade não apresentaram diferenças significativas a nível estatístico. Tanto para a crosta como para o miolo, a formulação com o bicarbonato de sódio apresentou os valores mais baixos.

Provavelmente isto foi influenciado pelo modo de actuação do levedante, que produziu um bolo mais fofo e macio.

4.4.1.2 Cacau a 6,8 e Bicarbonato de Sódio vs Cacau a 6,8 e Fermento com Ácido Tartárico

Tanto o pH da massa como o pH do bolo apresentaram diferenças significativas a nível estatístico. Novamente, a formulação com o ácido tartárico apresentou os valores mais baixos de pH, tanto na massa como no bolo, ou seja, é mais ácida. Usando um fermento com o ácido tartárico, o bicarbonato de sódio presente no fermento reage todo com o ácido tartárico, não reagindo com os ingredientes da massa. Os ingredientes ácidos mantêm-se e acidificam a massa e o bolo. Na formulação que só continha o bicarbonato de sódio, este reagiu com os ingredientes ácidos, aumentando o pH da massa e do bolo.

Na cor da massa não houve diferenças significativas nos parâmetros L^* e b^* . No parâmetro a^* existiram diferenças significativas a nível estatístico. Na cor do bolo, em todos os parâmetros, houve diferenças significativas a nível estatístico. A formulação com o ácido tartárico teve os parâmetros da cor mais elevados, originando um bolo mais claro e mais amarelado: o valor de b^* é quase o dobro, enquanto o de a^* é semelhante. Aqui, novamente, uma formulação mais ácida leva a um bolo menos avermelhado, mais a tender para o amarelo.

Os valores de a_w das duas formulações são significativamente diferentes, o que indica que as variações nos levedantes químicos influenciam a quantidade de água livre, disponível para o crescimento microbiano. A formulação com o bicarbonato de sódio obteve o valor mais elevado.

Em relação à percentagem de humidade relativa, a formulação com o bicarbonato de sódio teve um valor mais elevado. O que contraria os resultados da comparação anterior. A única diferença será então o valor do pH do cacau, que de algum modo poderá influenciar.

Na crosta, apenas a firmeza foi significativamente diferente, a nível estatístico. No miolo, a firmeza, a coesividade e a elasticidade foram estatisticamente diferentes, mas a adesividade não apresentou diferenças significativas a nível estatístico. Novamente, tanto para a crosta como para o miolo, a formulação com o bicarbonato de sódio apresentou os valores mais baixos. Provavelmente isto foi influenciado pelo modo de actuação do levedante, que produziu um bolo mais fofo e macio.

4.4.1.3 Cacau a 5,25 e Bicarbonato de Sódio vs Cacau a 6,8 e Bicarbonato de Sódio

O pH da massa apresentou diferenças significativas, sendo o pH do cacau 6,8 apenas ligeiramente superior. O pH do bolo não apresentou diferenças significativas, os pH's são iguais. O que significa que houve influência do pH do cacau na massa, mas esta não se manteve no forno.

Na cor da massa houve diferenças significativas nos parâmetros a^* e b^* , o parâmetro L^* não foi significativamente diferente. A formulação com cacau a 5,25 obteve valores superiores de a^* e b^* (diferença de 2 valores). Na cor do bolo não houve diferenças significativas no parâmetro a^* . Houve diferenças significativas nos parâmetros L^* e b^* . Ao nível da luminosidade, a formulação com cacau 6,8 foi superior. No parâmetro b^* , a formulação com cacau 5,25 obteve valores ligeiramente superiores. Provavelmente a diferença de pH's dos cacaos não influenciou significativamente a reacção de formação da cor do bolo, tal como não influenciou o seu pH final.

Os valores de a_w das duas formulações não são significativamente diferentes, o que indica que as variações no pH do cacau não influenciam muito a quantidade de água livre, disponível para o crescimento microbiano.

Em relação à percentagem de humidade relativa, a formulação com o pH a 6,8 obteve um valor mais elevado.

Na crosta nenhum parâmetro é significativamente diferente. No miolo a firmeza é significativamente diferente, tendo a formulação com o cacau a pH 5,25 um valor ligeiramente superior. A elasticidade é significativamente diferente, tendo a formulação com o cacau a 6,8 um valor ligeiramente superior. As diferenças entre ambos os valores são mínimas. A adesividade e a coesividade não são significativamente diferentes.

4.4.1.4 *Cacau a 5,25 e Fermento com Ácido Tartárico vs Cacau a 6,8 e Fermento com Ácido Tartárico*

Tanto o pH da massa como o pH do bolo apresentaram diferenças significativas a nível estatístico. A formulação com o cacau de pH 5,25 apresentou os valores mais baixos de pH, tanto na massa como no bolo.

Na cor da massa não houve diferenças significativas nos parâmetros L^* e b^* . No parâmetro a^* existiram diferenças significativas a nível estatístico. Na cor do bolo, em todos os parâmetros, houve diferenças significativas a nível estatístico. Tanto na cor na massa como na cor do bolo, a formulação com o pH a 6,8 teve um valor de luminosidade mais elevado, ou seja, cor mais clara. Nos parâmetros a^* e b^* , tanto na massa como no bolo, a formulação com o pH a 5,25 obteve valores mais elevados. O que contraria um pouco o que se obteve até agora, de um bolo menos ácido, ser mais avermelhado. No entanto a reacção química que origina a cor do bolo, deve-se aos pigmentos do cacau e à sua reacção ao levedante ou ao pH massa. O pH inicial do cacau provavelmente influencia esta reacção de modo diferente do pH final da massa/bolo.

Os valores de a_w das duas formulações são significativamente diferentes, o que indica que as variações no pH do cacau influenciam a quantidade de água livre, disponível para o crescimento microbiano. A formulação com o pH a 5,25 obteve o valor mais elevado.

Em relação à percentagem de humidade relativa, a formulação com o pH a 5,25 teve um valor mais elevado.

Na crosta todos os parâmetros são significativamente diferentes, a nível estatístico. A formulação com o pH a 5,25 obteve valores superiores. No miolo apenas a adesividade é significativamente diferente, com a formulação com o pH a 6,8 a obter um valor ligeiramente superior.

4.4.1.5 Cacao a 5,25 e Bicarbonato de Sódio (5g) vs Cacao a 5,25 e Bicarbonato de Sódio (7g)

Tanto o pH da massa como o pH do bolo apresentaram diferenças significativas a nível estatístico. A formulação com o bicarbonato a 7g (mais duas gramas que a outra formulação), obteve valores ligeiramente superiores de pH, tanto na massa como no bolo.

Tanto na cor da massa como na cor do bolo, todos os parâmetros são significativamente diferentes a nível estatístico. A formulação com o bicarbonato a 5g obteve valores superiores em todos os parâmetros. Ambos os bolos ficaram avermelhados, com o bolo da formulação a 7g a ficar ligeiramente mais escuro. Maior quantidade de bicarbonato de sódio, leva portanto a um tom avermelhado ligeiramente mais escuro.

Os valores de a_w das duas formulações são significativamente diferentes, o que indica que as variações na quantidade de bicarbonato de sódio influenciam a quantidade de água livre, disponível para o crescimento microbiano. A formulação com o bicarbonato de sódio a 5g obteve um valor ligeiramente superior.

Em relação à percentagem de humidade relativa, a formulação com o bicarbonato de sódio a 7g obteve um valor mais elevado.

Na crosta, a firmeza e a coesividade são significativamente diferentes, a nível estatístico. A elasticidade não obteve diferenças significativas. A formulação com o bicarbonato de sódio a 7g obteve valores superiores para a firmeza e inferiores para a coesividade. No miolo, apenas a firmeza é significativamente diferente, tendo a formulação com o bicarbonato a 5g obtido valores superiores.

5 CONCLUSÕES

5.1 Pré-selecção de Fórmulas do Bolo *Red Velvet*

Os resultados levam à conclusão que a receita mais adequada para os propósitos da tese será uma variação das receitas 2,3 e 4, descartando a receita 1.

Com base nesta avaliação inicial foram desenvolvidas duas formulações tipo, do bolo *Red Velvet*, que vão ser o ponto de partida dos testes práticos.

5.2 Estabilização da Fórmula Final do Bolo *Red Velvet*

Optou-se pelo uso da formulação XM8 para a realização dos testes práticos. Esta formulação apresentou valores mais elevados do parâmetro a^* , ou seja, a cor estará mais perto da zona dos vermelhos. Como o objectivo do trabalho prático é potenciar a cor avermelhada do bolo, uma formulação que apresente uma cor mais vermelha será mais ideal. Esta fórmula, por outro lado também apresentou valores mais baixos de firmeza e coesividade, o que resulta num bolo mais macio e mais agradável de mastigar.

No entanto, esta fórmula apresenta valores ligeiramente mais elevados de pH, o que poderá justificar valores mais elevados para a cor vermelha, em oposição ao comportamento referenciado na literatura de que as antocianinas a pH mais baixo, tendem para os vermelhos. Esta contradição poderá ser aparente, já que esta fórmula tem efectivamente uma maior quantidade de componentes ácidos, o que origina mais protões livres, que irão ligar-se aos pigmentos provocando a mudança de cor e reduzindo a quantidade de protões livres no final, o que pode explicar o pH final mais elevado.

5.3 Escolha do Método de Incorporação dos Ingredientes

Optou-se pelo uso do método *Foaming* para a realização dos testes práticos. Ambos os métodos apresentaram resultados semelhantes em termos dos parâmetros da cor, como tal a escolha baseou-se nos resultados da avaliação dos parâmetros de textura e no comportamento do bolo durante a cozedura. Com o método *Creaming*, o miolo demorou mais tempo a cozer do que a crosta a formar-se. Quando a crosta já estava formada e dourada, a estrutura interna ainda estava líquida. O bolo teve de ficar mais tempo no forno, para formar a estrutura interna, levando a formação de uma crosta muito firme e demasiado cozida. O método *Foaming* teve uma cozedura mais uniforme, levando a parâmetros mais uniformes a nível da textura.

5.4 Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico no Bolo *Red Velvet*

Ao nível do pH da massa e do bolo não houve influencia entre os cacaos com diferentes pH's utilizados, mas o tipo de levedante químico utilizado influenciou de forma estatisticamente relevante a cor do bolo. Com o uso do bicarbonato de sódio, o que leva a um pH mais básico, e o uso do fermento com o ácido tartárico, o que leva a um pH mais ácido, as diferenças ao nível do pH vão influenciar os resultados ao nível dos parâmetros da cor. Os bolos feitos com ácido tartárico (tanto com o cacau de pH a 5,25 como a 6,8) ficaram ambos com uma cor castanho amarelada. Os bolos feitos com bicarbonato de sódio (tanto com o cacau de pH a 5,25 como a 6,8) ficaram ambos com uma cor castanho avermelhada. Mantém-se consistente que bolos com pH mais básico, ficam com uma cor mais avermelhada. Estes resultados mostram que apenas o bicarbonato de sódio produz uma cor avermelhada. Isto porque o ácido tartárico interage com o bicarbonato de sódio para produzir dióxido de carbono e não interage, nem deixa o bicarbonato de sódio interagir com nenhum outro ingrediente. Na formulação que usa o bicarbonato de sódio como levedante, este vai interagir com os componentes ácidos da receita (iogurte, vinagre, cacau em pó) para produzir dióxido de carbono. Provavelmente, ao interagir com o cacau em pó, o bicarbonato de sódio leva a uma alteração da cor dos pigmentos, tornando-a mais avermelhada. Esta conclusão é apoiada pelas alterações provocadas na cor do cacau em pó natural durante o seu processo de alcalinização, como explicado na revisão bibliográfica desta tese.

Na avaliação de textura, os resultados levam-me a concluir que a escolha do levedante químico influencia ligeiramente os parâmetros texturais do bolo, enquanto que o pH do cacau tem muito pouca influencia. A formulação com o bicarbonato de sódio apresentou os valores mais baixos ao nível dos parâmetros texturais. Concluindo-se que o modo de actuação deste levedante, que actua reagindo com os ingredientes ácidos da receita (iogurte, vinagre, cacau em pó natural), vai produzir um maior poder de levedação - para a mesma quantidade de fermento, o bicarbonato de sódio tem quatro vezes mais o poder levedante do fermento. Um maior poder de levedação vai produzir uma maior quantidade de dióxido de carbono, areando a massa e levando à produção de um bolo mais tenro e macio.

5.5 Conclusões Finais

Os resultados levam à conclusão que de facto existem reacções químicas que ocorrem no bolo e que são responsáveis pela cor avermelhada do bolo *Red Velvet*. Esta reacção ocorre provavelmente entre os pigmentos do cacau e o bicarbonato de sódio. Existe um mecanismo de estabilização da cor que permite aos pigmentos manter a cor vermelha a pH's mais básicos.

6 TRABALHO FUTURO

Esta tese deixou uma contradição por resolver: o comportamento das antocianinas. A literatura refere que a pH ácido as antocianinas tendem para a cor vermelha. As experiências feitas nesta tese, com o bicarbonato de sódio e o ácido tartárico, indicam algo diferente. Os bolos feitos com o bicarbonato de sódio tendem mais para os vermelhos do que os bolos feitos com ácido tartárico, ou seja, bolos com pH mais alcalino tendem a ser mais avermelhados. De modo a perceber melhor o que causará esta contradição, um estudo mais aprofundado aos pigmentos do cacau, ao seu comportamento e aos seus mecanismos de estabilização da cor e de co-pigmentação, poderá dar mais respostas. Estudar o comportamento dos pigmentos do cacau consoante as variações do pH e fazer uma quantificação química destes pigmentos, para além de estudar mais a fundo as possíveis interações dos pigmentos com os outros ingredientes do bolo (nomeadamente os levedantes químicos), são possibilidades interessantes para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrià, F. (2004). *Las espumas - Técnica, tipos y usos* (1ª). ICC · International Cooking Concepts.
- Alleoni, A. C. C. (2006). Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. *Scientia Agricola*, 63(3), 291–298.
- Amendola, J., & Rees, N. (2003). *Understanding Baking: The Art and Science of Baking* (3ª). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- America, T. C. I. of. (2009). *Mastering the Art and Craft Baking & Pastry*. John Wiley & Sons, Inc.
- Andrews, T. (2000). *Nectar & Ambrosia: An Encyclopedia of Food in World Mythology*. ABC-CLIO.
- Anton, M., & Gandemer, G. (1999). Effect of pH on interface composition and on quality of oil-in-water emulsions made with hen egg yolk. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 12(3–6), 351–358.
- Ayto, J. (2002). *An A-Z of food and drink*. Oxford University Press.
- Banks, W., & Greenwood, C. T. (1975). *Starch and its Components*. Edinburgh University Press.
- Barham, P. (2001). *The Science of Cooking*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Beckett, S. T. (2004). *The Science of Chocolate*. RSC Publishing.
- Belitz, H. D., & Grosch, W. (1987). *Food Chemistry*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bennion, M. (1980). *The Science of Food* (1ª). John Wiley & Sons, Inc.
- Bordignon Jr., C. L., Francescato, V., Nienow, A. A., Calvete, E., & Reginatto, F. H. (2009). Influência do pH da solução extrativa no teor de antocianinas em frutos de morango. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29(1), 183–188.
- Botelho, F. de souza. (2012). *Efeito das Gomas Xantana e/ou Guar na Textura de Pães Isentos de Glúten Elaborados com Farinhas de Arroz*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa e Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Bourne, M. (2002). *Food Texture and Viscosity: Concept and Measurement* (2ª). Academic Press: An Elsevier Science Imprint.
- Brennan, J. G. (1988). Texture Perception and Measurement. Em J. R. Piggott (Ed.), *Sensory Analysis of Foods* (2º, pp. 69–102). Elsevier Science Publishers LTD.
- Brown, A. (2004). *I'm Just Here for More Food: Food x Mixing + Heat = Baking*. Stewart, Tabori & Chang.
- Byrn, A. (2016). *American cake: From Colonial Gingerbread to Classic Layer, the stories and recipes behind more than 125 of our best-loved cakes from past to present*.
- Cardoso, A. S. (2003). Corantes e Pigmentos. Em A. Gomes de Castro (Ed.), *A Química e a Reologia no Processamento dos Alimentos* (pp. 253–256). Instituto Piaget.
- Castañeda-Ovando, A., Pacheco-Hernández, M. de L., Páez-Hernández, M. E., Rodríguez, J.

- A., & Galán-Vidal, C. A. (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 113(4), 859–871.
- Catherine A. Rice-Evans, L. P. (2003). *Flavonoids in Health and Disease* (2ª).
- Cauvain, S., & Young, L. (2001). *Baking Problems Solved*. Woodhead Publishing Limited e CRC Press LLC.
- Chang, R. (2010). *Química Geral, Conceitos Essenciais* (4a ed.). AMGH Editora Ltda.
- Coady, C. (2001). *O Guia do Chocolate - Guia Especializado dos Melhores Chocolates do Mundo*. Livros&Livros.
- Coe, S. D., & Coe, M. D. (2007). *The True History of Chocolate*. Thames and Hudson.
- Corriher, S. O. (2008). *BakeWise: The Hows and Whys of Successful Baking with Over 200 Magnificent Recipes*.
- Davidson, A., & Jaime, T. (2006). *The Oxford companion to food*. Oxford University Press.
- Davies, K. M. (2004). *Plant pigments and their manipulation. Annual Plant Reviews Vol 14. Annual Plant Reviews* (Vol. 14). CRC Press LLC.
- De Taeye, C., Eyamo Evina, V. J., Caullet, G., Niemenak, N., & Collin, S. (2016). Fate of Anthocyanins through Cocoa Fermentation. Emergence of New Polyphenolic Dimers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(46), 8876–8885.
- Denniston, K. J., Topping, J. J., Woodrum, K. R., & Caret, R. L. (2014). *General, Organic, and Biochemistry* (8ª). The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Dobraszczyk, B. J. (2006). Baking, Extrusion and Frying - Baking Bread. Em J. G. Brennan (Ed.), *Food Processing Handbook* (pp. 237–249). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany.
- Ebeler, S. E., Breyer, L. M., & Walker, C. E. (1986). White Layer Cake Batter Emulsion Characteristics: Effects of Sucrose Ester Emulsifiers. *Journal of Food Science*, 51(5), 1276–1278.
- Faria, A. I. G. (2005). *Propriedades Antioxidantes e Biológicas de Procianidinas Oligoméricas. Caracterização Antioxidante de Pigmentos Antociânicos*. Faculdade de Ciências da Universidade do.
- Fellows, P. J. (2006). *Tecnologia do Processamento de Alimentos - Princípios e Prática* (2ª). Artmed Editora S.A.
- Fernandes, M. da S. (2013). *Isolamento e purificação de polifenóis do vinho e da cevada. Análise de propriedades antioxidantes*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Figoni, P. (2008). *Exploring the Fundamental of Baking Science*.
- Fraile, M. J. P. (sem data). *1000 Sabores da Doçaria Conventual*. (L. Girassol Edições, Ed.).
- Friberg, B., & Friberg, A. K. (2002). *The professional pastry chef: fundamentals of baking and pastry*. J. Wiley.
- Gaman, P. M., & Sherrington, K. B. (1977). *The Science of Food* (1ª). Pergamon Press Ltd.
- Giltekin-Özgiven, M., Berktaş, I., & Özçelik, B. (2016). Change in stability of procyanidins, antioxidant capacity and in-vitro bioaccessibility during processing of cocoa powder from cocoa beans. *LWT - Food Science and Technology*, 72, 559–565.

- Gray, M. (2009). *All Cakes Considered*. Chronicle Books.
- Grotewold, E. (2006). *The Science of Flavonoids*.
- Hudson, B. J. F. (1992). *Biochemistry of Food Proteins*. Elsevier Science Publishers LTD.
- Iacobucci, G. A., & Sweeny, J. G. (1983). The chemistry of anthocyanins, anthocyanidins and related flavylium salts. *Tetrahedron*, 39(19), 3005–3038.
- Khodorowsky, K., & Robert, H. (2000). *ABCedário do Chocolate*. PÚBLICO.
- Lacueva, A., & Urpi Sarda, M. (2009). *Plant Phenolics and Human Health. Plant Phenolics and Human Health*.
- Lagassé, P., & Columbia University. (2000). The Columbia Encyclopedia (p. 1). Columbia University Press.
- Li, Y., Zhu, S., Feng, Y., Xu, F., Ma, J., & Zhong, F. (2014). Influence of alkalization treatment on the color quality and the total phenolic and anthocyanin contents in cocoa powder. *Food Science and Biotechnology*, 23(1), 59–63.
- Lomakina, K., & Míková, K. (2006). A Study of the Factors Affecting the Foaming Properties of Egg White - A Review. *Czech Journal of Food Sciences*, 24(3), 110–118.
- M. Iwu, M. (2017). *Food as Medicine: Functional Food Plants of Africa*. Taylor & Francis Group, LLC.
- MacDougall, D. B. (1988). Colour Vision and Appearance Measurement. Em J. R. Piggott (Ed.), *Sensory Analysis of Foods* (2ª, pp. 103–130). Elsevier Science Publishers LTD.
- Mariani, J. F. (1999). *The Encyclopedia of American Food and Drink*.
- Markakis, P. (1982). *Anthocyanins as Food Colors*. Academic Press, Inc.
- Mazza, G., & Miniati, E. (1993). *Anthocyanins in Fruits, Vegetables, and Grains*. CRC Press, Inc.
- McGee, H. (2004). *On Food and Cooking : The Science and Lore of the Kitchen*. Scribner.
- McGraw-Hill Concise Encyclopedia of Science & Technology. (2005) (5ª). The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Michel, F., Thibault, J.-F., & Doublier, J.-L. (1984). Viscometric and potentiometric study of high-methoxyl pectins in the presence of sucrose. *Carbohydrate Polymers*, 4(4), 283–297.
- Mine, Y. (1995). Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science and Technology*, 6(7), 225–232.
- Minifie, B. W. (1989). *Chocolate, Cocoa, and Confectionery: Science and Technology* (3ª). Van Nostrand Reinhold.
- Monteiro, R. P. B. (2017). *Desenvolvimento de Técnicas de Pastelaria para a Produção de Produtos Isentos de Leite, Ovos e Glúten*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Moura, J. I. M. G. de. (2011). *Desenvolvimento de Metodologias para a Aplicação de Hidrocolóides a Técnicas Culinárias de Vanguarda*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Nacz, M., & Shahidi, F. (2004). Phenolic Compounds of Beverages. Em *Phenolics in Food and Nutraceuticals* (pp. 256–264). CRC Press LLC.

- Nave, F. J. M. (2014). *Caraterização Estrutural de Novos Pigmentos Responsáveis pela Cor de Vinhos do Porto Envelhecido*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Nunes, M. C. (2003). Propriedades Funcionais das Proteínas. Em A. Gomes de Castro (Ed.), *A Química e a Reologia no Processamento dos Alimentos* (pp. 121–131). Instituto Piaget.
- Oetterer, M., Regitano-d'Arce, M. A. B., & Spoto, M. H. F. (2006). *Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. Editora Manole Ltda.
- Offrede, G. P. (2015). *Produção de Pão com Recurso a Pré-Fermentos. Desenvolvimento de Produtos numa Unidade de Panificação*.
- Oliveira, S. R. N. P. de. (2017). *Criação de um Bombom Pastel de Nata*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa e Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Onslow, M. W. (1925). *The Anthocyanin Pigments of Plants* (2ª). Cambridge University Press.
- Oracz, J., Nebesny, E., & Zyzelewicz, D. (2015). Changes in the flavan-3-ols, anthocyanins, and flavanols composition of cocoa beans of different Theobroma cacao L. groups affected by roasting conditions. *European Food Research and Technology*, 241(5), 663–681.
- Ostmann, B. G., & Baker, J. L. (1997). *The Recipe Writer's Handbook*. Wiley.
- Parker, R. (2003). *Introduction to Food Science*. Delmar, Thomson Learning, Inc.
- Pinto, T. R. de S. C. (2017). *O Bom , o Mau e o Vilão , quando a gulodice é um caminho para a Felicidade – Efeitos do Cacau no Estado Emocional*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Porto, P. A. L. da S. (2002). *Estudo da Actividade Antioxidante de Catequinas e Procianidinas Oligoméricas*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Póvoas, M. J. C. (2006). *Estudo dos Fenómenos Físico-Químicos que estão Associados ao Sabor dos Alimentos. Interação das Proteínas com os Polifenóis*. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.
- Quintas, A., Freire, A. P., & Halpern, M. J. (2008). *Bioquímica : Organização Molecular da Vida*. Lidel.
- Ramos, S. C. F. (2013). *Avaliação das Propriedades Gelificantes da Farinha de Chia (Salvia hispanica L .): Desenvolvimento de Novas Aplicações Culinárias*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa e Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Raymundo, A. (2003). Emulsões Alimentares. Em A. Gomes de Castro (Ed.), *A Química e a Reologia no Processamento dos Alimentos* (pp. 93–109). Instituto Piaget.
- Rosenthal, A. J. (1999). Relation between Instrumental and Sensory Measures of Food Texture. Em K. Litzenberg (Ed.), *Food Texture - Measurement and Perception* (pp. 1–16). Aspen Publishers, Inc.
- Saramago, A., & Cardoso, H. (2000). *Para a História da Doçaria Conventual Portuguesa*.
- Schmitz, F. Z. (2014). *Substituição do Amido de Milho por Goma Xantana na Preparação de Cremes de Pasteleiro: Impacto nas Componentes de Aroma e de Textura*. Instituto

- Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa.
- Serra Bonvehí, J., & Ventura Coll, F. (1997). Evaluation of bitterness and astringency of polyphenolic compounds in cocoa powder. *Food Chemistry*, 60(3), 365–370.
- Skrede, G., & Wrolstad, R. E. (2002). Flavonoids from Berries and Grapes. Em J. Shi, G. Mazza, & M. Le Maguer (Eds.), *Functional Foods - Biochemical and Processing Aspects, Volume 2* (pp. 72–98).
- Sousa, I. M. . (2001). A Reologia dos Produtos Alimentares. Em A. Gomes de Castro, J. A. Covas, & A. C. Diogo (Eds.), *Reologia e suas Aplicações Industriais* (pp. 131–157). Instituto Piaget.
- Toussaint-Samat, M. (2009). *A History of Food*. Wiley-Blackwell.
- Trindade, R. dos S. F. do N. (2015). *Valorização de um Subproduto proveniente do Estágio do Vinho do Porto: Borrás Finas de Vinhos Vintage e Tawny como Matéria-Prima de um Novo Produto Alimentar*. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa e Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Tuckmantel, W., & Kozikowski, A. P. (2008). Methods for Synthesizing the Cocoa-Derived Oligomeric Epi-Catechins - Observations on the Anticancer Activity of the Cocoa Polyphenols. Em F. Daayf & V. Lattanzio (Eds.), *Recent Advances in Polyphenol Research, Volume 1* (pp. 88–91). Blackwell Publishing Ltd.
- Weaver, D. R. (2006). *How to Bake: Your Complete Reference Book*. The Prepared Pantry.

ANEXOS

Índice de Anexos

Anexo A – Ficha de Análise Sensorial

Anexo B – Análise Estatística para a Estabilização da Fórmula Final do Bolo *Red Velvet*

Anexo C – Análise Estatística para a Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes

Anexo D – Análise Estatística para a Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico no Bolo *Red Velvet*

Anexo E – Imagens das fatias do bolo *Red Velvet*

Anexo A – Ficha de Análise Sensorial

Folha de prova		
Idade:	Género: () Masculino () Feminino	
Código da amostra:		
Assinale com um X a classificação que acha mais adequada para cada atributo.		
<u>Cor</u>	<u>Cheiro</u>	<u>Sabor</u>
Muito agradável	Muito agradável	Muito agradável
Agradável	Agradável	Agradável
Ligeiramente agradável	Ligeiramente agradável	Ligeiramente agradável
Ligeiramente desagradável	Ligeiramente desagradável	Ligeiramente desagradável
Desagradável	Desagradável	Desagradável
Muito desagradável	Muito desagradável	Muito desagradável
<u>Textura</u>	<u>Apreciação global</u>	<u>Intenção de compra</u>
Muito agradável	Muito agradável	Compraria de certeza
Agradável	Agradável	Provavelmente compraria
Ligeiramente agradável	Ligeiramente agradável	Não sei se compraria
Ligeiramente desagradável	Ligeiramente desagradável	Provavelmente não compraria
Desagradável	Desagradável	Não compraria de certeza
Muito desagradável	Muito desagradável	
Observações:		

Figura 24: Ficha de Análise Sensorial.

Anexo B – Análise Estatística para a Estabilização da Fórmula Final do Bolo *Red Velvet*

A tabela seguinte mostra os resultados da análise estatística dos diversos factores para a estabilização da fórmula final do bolo *Red Velvet*:

Tabela 15: Análise Estatística dos Diversos Factores para a Estabilização da Fórmula Final do Bolo *Red Velvet*.

Estatísticas		Teste Levene (p-value)	Teste T (p-value)	Teste Mann-Whitney (p-value)
pH	Massa	0,637	0,000001	
	Bolo	0,061	0,001	
Cor Massa	L*	0,499	0,000004	
	a*	0,418	0,000001	
	b*	0,207	0,000001	
Cor Bolo	L*	0,677	0,139	
	a*	0,902	0,000001	
	b*	0,013		0,000183
Crosta	Firmeza	0,559	0,000006	
	Coesividade	0,368	0,000001	
	Elasticidade	0,192	0,003	
Miolo	Firmeza	0,299	0,002	
	Adesividade	0,545	0,130	
	Coesividade	0,882	0,045	
	Elasticidade	0,798	0,04	
a _w		0,309	0,674	

Anexo C – Análise Estatística para a Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes

A tabela seguinte mostra os resultados da análise estatística dos diversos factores para a escolha do método de incorporação de ingredientes:

Tabela 16: Análise Estatística dos Diversos Factores para a Escolha do Método de Incorporação de Ingredientes.

Estatísticas		Teste Levene (p-value)	Teste T (p-value)	Teste Mann-Whitney (p-value)
pH	Massa	0,152	0,000382	
	Bolo	0,062	0,000001	
Cor Massa	L*	0,232	0,848	
	a*	0,736	0,004	
	b*	0,582	0,019	
Cor Bolo	L*	0,371	0,001	
	a*	0,088	0,251	
	b*	0,782	0,744	
Crosta	Firmeza	0,000001		0,000001
	Coesividade	0,001		0,616775
	Elasticidade	0,041		0,155571
Miolo	Firmeza	0,412	0,000221	
	Adesividade	0,012		0,002
	Coesividade	0,017		0,016
	Elasticidade	0,019		0,678
a _w		0,493668	0,429253	

Anexo D – Análise Estatística para a Influência do pH do Cacau e do Levedante Químico no Bolo Red Velvet

A tabela seguinte mostra os resultados da análise estatística dos diversos factores para a formulação com cacau a 5,25 e bicarbonato de sódio vs a formulação com cacau a 5,25 e fermento com ácido tartárico.

Tabela 17: Análise Estatística dos Diversos Factores para BS 5,25 vs AT 5,25.

Estatísticas		Teste Levene (p-value)	Teste T (p-value)	Teste Mann-Whitney (p-value)
pH	Massa	0,216	0,000001	
	Bolo	0,015		0,000183
Cor Massa	L*	0,710	0,964	
	a*	0,123	0,665	
	b*	0,037		0,677
Cor Bolo	L*	0,094	0,000001	
	a*	0,114	0,025	
	b*	0,271	0,000001	
Crosta	Firmeza	0,156	0,000001	
	Coesividade	0,145	0,000001	
	Elasticidade	0,872	0,082	
Miolo	Firmeza	0,129	0,008	
	Adesividade	0,005		0,604
	Coesividade	0,065	0,009	
	Elasticidade	0,894	0,169	
a _w		0,27	0,063	

A tabela seguinte mostra os resultados da análise estatística dos diversos factores para a formulação com cacau a 6,8 e bicarbonato de sódio vs a formulação com cacau a 6,8 e fermento com ácido tartárico.

Tabela 18: Análise Estatística dos Diversos Factores para BS 6,8 e AT 6,8.

Estatísticas		Teste Levene (p-value)	Teste T (p-value)	Teste Mann-Whitney (p-value)
pH	Massa	0,072	0,000001	
	Bolo	0,957	0,000001	
Cor Massa	L*	0,003		0,212
	a*	0,579	0,001	
	b*	0,942	0,189	
Cor Bolo	L*	0,77	0,000001	
	a*	0,644	0,000002	
	b*	0,419	0,000001	
Crosta	Firmeza	0,035		0,000001
	Coesividade	0,029		0,394
	Elasticidade	0,388	0,123	
Miolo	Firmeza	0,791	0,000001	
	Adesividade	0,641	0,393	
	Coesividade	0,028		0,005
	Elasticidade	0,076	0,005	
a _w		0,2	0,000577	

A tabela seguinte mostra os resultados da análise estatística dos diversos factores para a formulação com cacau a 5,25 e bicarbonato de sódio vs a formulação com cacau a 6,8 e bicarbonato de sódio.

Tabela 19: Análise Estatística dos Diversos Factores para BS 5,25 e BS 6,8.

Estatísticas		Teste Levene (p-value)	Teste T (p-value)	Teste Mann-Whitney (p-value)
pH	Massa	0,013		0,002
	Bolo	0,688	0,246	
Cor Massa	L*	0,346	0,644	
	a*	0,841	0,000001	
	b*	0,454	0,039	
Cor Bolo	L*	0,364	0,015	
	a*	0,499	0,645	
	b*	0,145	0,017	
Crosta	Firmeza	0,257	0,512	
	Coesividade	0,000467		0,882
	Elasticidade	0,928	0,902	
Miolo	Firmeza	0,182	0,022	
	Adesividade	0,097	0,504	
	Coesividade	0,773	0,236	
	Elasticidade	0,588	0,005	
a _w		0,985	0,27	

As tabelas seguintes mostram os resultados da análise estatística para a formulação com cacau a 5,25 e fermento com ácido tartárico vs a formulação com cacau a 6,8 e fermento com ácido tartárico.

Tabela 20: Análise Estatística dos Diversos Factores para AT 5,25 e AT 6,8.

Estatísticas		Teste Levene (p-value)	Teste T (p-value)	Teste Mann-Whitney (p-value)
pH	Massa	0,009		0,005
	Bolo	0,123	0,000001	
Cor Massa	L*	0,029		0,162
	a*	0,439	0,014	
	b*	0,423	0,189	
Cor Bolo	L*	0,404	0,003	
	a*	0,123	0,000001	
	b*	0,329	0,00054	
Crosta	Firmeza	0,406	0,000001	
	Coesividade	0,883	0,000086	
	Elasticidade	0,451	0,00059	
Miolo	Firmeza	0,595	0,157	
	Adesividade	0,058	0,007	
	Coesividade	0,25	0,487	
	Elasticidade	0,143	0,774	
a _w		0,084	0,001	

As tabelas seguintes mostram os resultados da análise estatística para a formulação com cacau a 5,25 e 5g de bicarbonato de sódio vs a formulação com cacau a 5,25 e 7g de bicarbonato de sódio.

Tabela 21: Análise Estatística dos Diversos Factores para BS 5g e BS 7g.

Estatísticas		Teste Levene (p-value)	Teste T (p-value)	Teste Mann-Whitney (p-value)
pH	Massa	0,239	0,028	
	Bolo	0,392	0,008	
Cor Massa	L*	0,506	0,018	
	a*	0,104	0,0008	
	b*	0,103	0,012	
Cor Bolo	L*	0,096	0,008	
	a*	0,339	0,000004	
	b*	0,768	0,000001	
Crosta	Firmeza	0,689	0,00005	
	Coesividade	0,000001		0,044
	Elasticidade	0,169	0,155	
Miolo	Firmeza	0,03		0,019
	Adesividade	0,076	0,466	
	Coesividade	0,465	0,965	
	Elasticidade	0,881	0,118	
a_w		0,073	0,033	

Anexo E – Imagens das fatias do bolo *Red Velvet*



Figura 25: Imagem da Fatia do Bolo Feito com Bicarbonato de Sódio e Cacau de pH a 5,25.



Figura 26: Imagem da Fatia do Bolo Feito com Bicarbonato de Sódio e Cacao de pH a 6,8.



Figura 27: Imagem da Fatia do Bolo Feito com 7g de Bicarbonato de Sódio e Cacau de pH a 5,25.



Figura 28: Imagem da Fatia do Bolo Feito com Fermento com Ácido Tartárico e Cacau de pH a 5,25.



Figura 29: Imagem da Fatia do Bolo Feito com Fermento com Ácido Tartárico e Cacau de pH a 6,8.